



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE

INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

VÝROBA REGÁLOVÉ LIŠTY

PRODUCTION OF RACK MOULDING

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Michal Repatý

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Ladislav Žák, Ph.D.

BRNO 2018

Zadání diplomové práce

Ústav: Ústav strojírenské technologie
Student: **Bc. Michal Repatý**
Studijní program: Strojní inženýrství
Studijní obor: Strojírenská technologie
Vedoucí práce: **Ing. Ladislav Žák, Ph.D.**
Akademický rok: 2017/18

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma diplomové práce:

Výroba regálové lišty

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Úkolem bude navrhnout technologii výroby součásti a vypracovat konstrukční řešení postupového nástroje.

Cíle diplomové práce:

Posouzení technologičnosti výroby součásti.
Literární studie problematiky technologie stříhání a ohýbání.
Návrh technologie výroby součásti s potřebnými výpočty.
Konstrukční řešení postupového nástroje.
Ekonomické zhodnocení.

Seznam doporučené literatury:

BOLJANOVIC, Vukota. Sheet metal forming processes and die design. New York: Industrial Press, c2004. ISBN 0831131829.

BAČA, Jozef, Jozef BÍLIK a Viktor TITTEL. Technológia tvárnenia. Bratislava: Nakladateľstvo STU, 2010. Edícia vysokoškolských učebníc. ISBN 978-80-227-3242-0.

LIDMILA, Zdeněk. Teorie a technologie tváření. Brno: Univerzita obrany, 2008. ISBN 978-80-72-1-579-6.

HELLWIG, Waldemar. Spanlose Fertigung: Stanzen. 5., überarb. und erw. Aufl. Wiesbaden: Vieweg, 1994. Fachbuch der Technik (Vieweg). ISBN 3-528-44042-2.

SCHULER GmbH. Handbuch der Umformtechnik. New York: Springer, c1996. ISBN 3-540-61099-5.

ŘEHULKA, Zdeněk. Konstrukce výlisků z plastů a forem pro zpracování plastů. Brno: Sekurkon, 2007.
ISBN 978-80-86604-36-7.

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2017/18

V Brně, dne

L. S.

prof. Ing. Miroslav Píška, CSc.
ředitel ústavu

doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.
děkan fakulty

ABSTRAKT

REPATÝ Michal : Výroba regálové lišty

Práca predpokladá zhodnotenie technologickej, ekonomickej a konštrukčnej časti výroby súčasti a návrhu nástroja, slúžiaceho na veľkosériovú výrobu regálovej lišty z oceli S355MC. Z literárnej štúdie sa ukázalo ako najvhodnejšie využitie postupového združeného nástroja kombinujúceho v 4 krokoch strižné a ohýbacie operácie. Na základe potreby produkcie vždy dvoch, rovinných symetrických kusov, bude nástroj vyrábať oba kusy súčasne, čo je z ekonomického hľadiska veľmi výhodné. Nástroj je navrhnutý na použitie na mechanickom lise Arisa 630t. Materiál bude zo zvitku odvíjaný, rovnaný a do nástroja posúvaný presnou podávačkou. Celková cena výroby súčasti bola stanovená na 18,8 Kč.

Kľúčové slová: strih, ohyb, postupový nástroj, plošné tvárnenie, regálová lišta

ABSTRACT

REPATÝ Michal : Production of rack moulding

The paper evaluates technological, economic and construction aspects of the component production and the design of the tool serving for large-scale production of the S355MC steel rack component. Use of a progressive tool combining cutting and bending operations in four steps has been decided as the most appropriate according to literature study. Based on the need of production of two plane-symmetrical pieces at a time, the tool will produce both pieces simultaneously, which is economically advantageous. The tool is designed for use on the Arisa 630t mechanical press. Material will be winded off the roll, flattened and pushed into the tool by a precision feeder. The total cost of production of the component was set at 18.80 CZK.

Keywords: cutting, bending, progressive tool, surface moulding, rack rail

BIBLIOGRAFICKÁ CITÁCIA

REPATÝ, Michal. *Výroba regálové lišty*. Brno, 2018. 58s, 10 výkresov, 6 příloh, CD. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství. Ústav strojírenské technologie, Odbor technologie tváření kovů a plastů. Vedúci práce Ing. Ladislav Žák, Ph.D.

ČESTNÉ PREHLÁSENIE

Týmto prehlasujem, že predkladanú diplomovú prácu som vypracoval samostatne, s využitím uvedenej literatúry a podkladov, na základe konzultácií a pod vedením vedúceho diplomovej práce.

V Brne dňa 24.5.2018

.....

Podpis

POĎAKOVANIE

Týmto ďakujem pánovi Ing. Ladislavovi Žákovi, Ph.D. za cenné pripomienky a rady pri vypracovaní tejto diplomovej práce. Ďalej by som rád poďakoval rodine a blízkym za podporu počas štúdia a samotnej tvorby práce.

OBSAH

Zadanie	
Abstrakt	
Abstract	
Bibliografická citácia	
Čestné prehlásenie	
Podakovanie	
Obsah	

ÚVOD	9
1 ROZBOR ZADANIA	10
1.1 Variantné riešenie	11
2 TEÓRIA	14
2.1 Strih	14
2.1.1 Strižná vôľa a povrch	15
2.1.2 Sila a práca	16
2.1.3 Technologické zásady	17
2.2 Ohyb	18
2.2.1 Odpruženie	19
2.2.2 Sila a práca	20
2.2.3 Dĺžka polotovaru	22
2.2.4 Minimálny a maximálny polomer ohybu	23
2.2.5 Technologické zásady	24
2.3 Nástroj	25
2.3.1 Strižný nástroj	25
2.3.2 Ohýbací nástroj	33
2.4 Tvárniace stroje	35
3 NÁVRH	37
3.1 Technologickosť vyrábaného dielu	37
3.2 Varianty výrobného postupu	39
3.3 Výpočty strihu	44
3.4 Výpočty ohybu	46
3.5 Voľba stroja	49
3.6 Návrh nástroja	51
4 EKONOMICKÝ NÁVRH	55
5 ZÁVERY	58

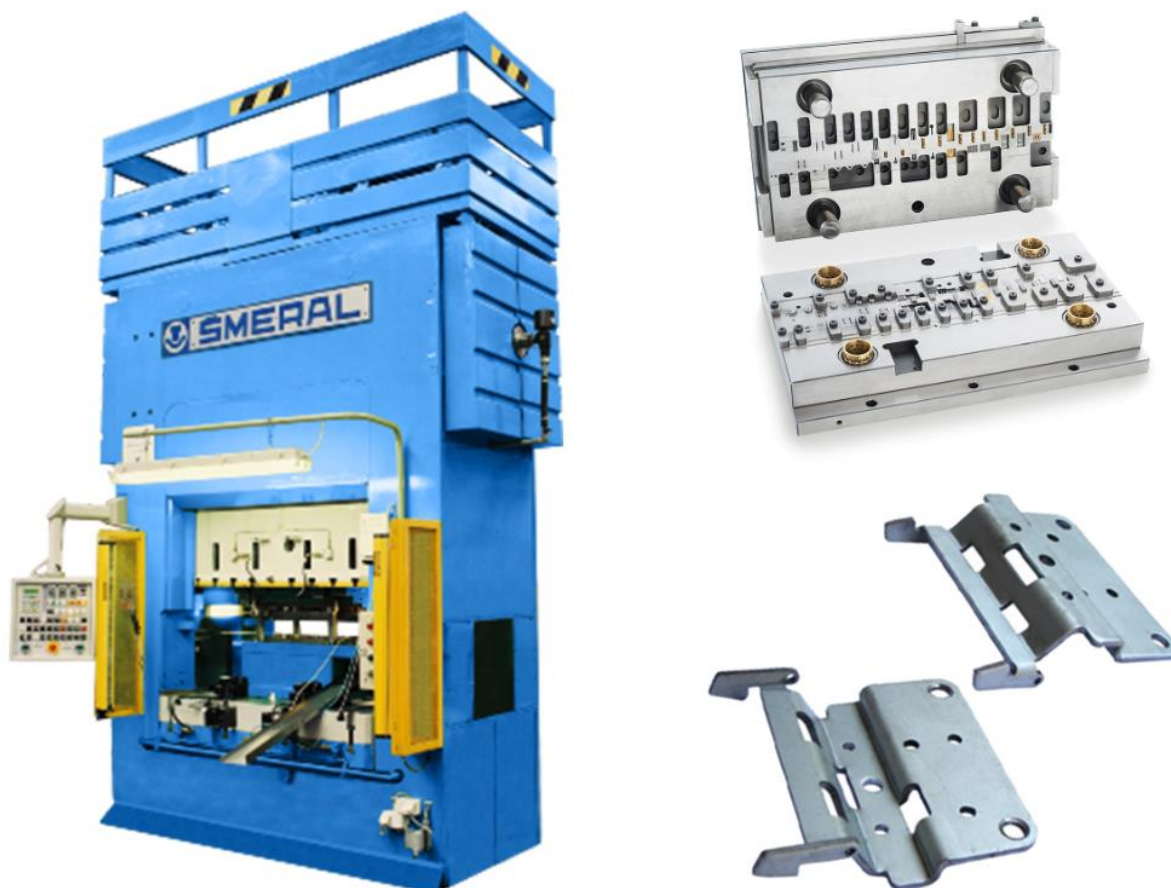
Zoznam použitej literatúry	
Zoznam použitých skratiek	
Zoznam obrázkov	
Zoznam tabuliek	
Zoznam príloh	
Zoznam výkresovej dokumentácie	

ÚVOD [1], [2], [3], [4], [5]

V oblasti výrobných technológií sa so zdokonaľujúcou sa technikou vyvíjajú a rozširujú nové prístupy. Posúvajú sa možnosti najmä v oblastiach automatizácie, obrábania, prototypovej a malosériovej výroby. Avšak pri výrobe veľkých sérií, sú pre svoju vysokú produktivitu, už dlhodobo užívané technológie tvárnenia.

Tvárnacie technológie je možné rozdeliť na objemové a plošné. Tvárniť je možné za studena aj za tepla, vyrábať hotové súčasti alebo polotovary k ďalším operáciám. Medzi najrozšírenejšie tvárnacie technológie patrí výroba súčasti strihaním, ohýbaním alebo hlbokým ťahaním. Výhodami tvárnenia sú mimo produktivity aj nízka cena výroby, vysoké percento využitia materiálu a možnosť zlepšovať fyzikálne a mechanické vlastnosti vyrábanej súčasti.

Vyrábané súčasti môžu byť tvárnené postupne, v niekoľkých krokoch, na univerzálnych tvárniacich strojoch alebo je k ich výrobe zhotovený samostatný, jednoúčelový nástroj. Často, pre zložitejší tvar vyrábanej súčasti, v sebe nástroje kombinujú niekoľko tvárniacich operácií, v niekoľkých, po sebe nasledujúcich krokoch. Správne skonštruovaný a nastavený nástroj nemá z hľadiska produktivity a ekonomického hľadiska veľkosériovej výroby konkurenciu ani v porovnaní s najmodernejšími výrobnými technológiami.



Obr. 1 Príklad tvárnacieho stroja, nástroja a súčasti vyrobenej technológiou plošného tvárnenia [3], [4], [5]

1 ROZBOR ZADANIA [6], [7]

Vyrábaná súčasť je upínacím prvkom polic a priečnikov do vertikálnych nosníkov skladových regálov vysokej nosnosti. Na súčasť sú kladené nároky hlavne na výrobnú cenu a základnú rozmerovú presnosť. Celkové rozmery regálovej lišty sú 240×64×42,8 mm. Výkresová dokumentácia regálovej lišty je súčasťou prílohy tohto dokumentu. Na uchytenie jedného priečnika sú potrebné 2 kusy regálovej lišty a to v zrkadlovo symetrickom vyhotovení.

Vyrábaný diel bude následne technológiou zvarovania spojený s vhodnou policou a ako celok pomocou úchyto, ktoré sú súčasťou regálovej lišty, založený do nosníkov regálovej sústavy. Na poistenie proti náhodnému vytiahnutiu regálovej lišty slúži poistný kolík.

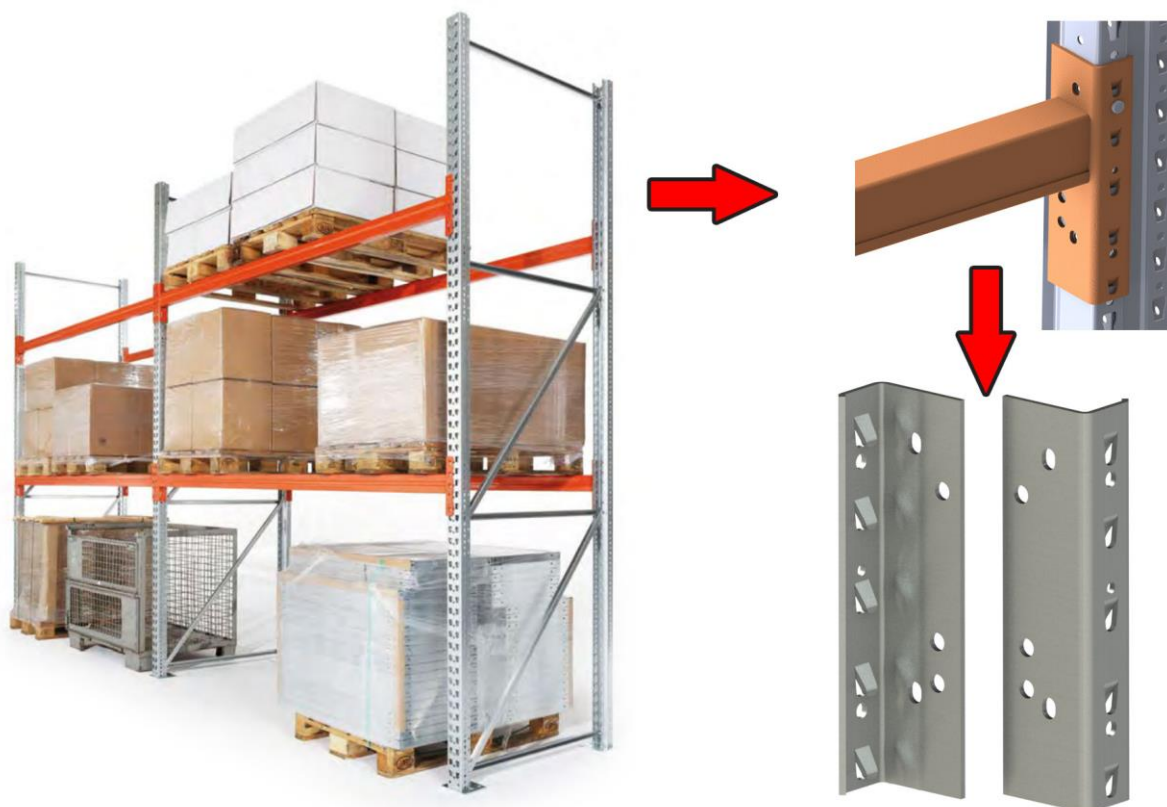
Tab. 1 Chemické zloženie oceli S355MC [6].

Značka oceli	Číselné označenie	Maximálne hmotnostné % podľa normy ČSN EN 10149-2										
		C	Si	Mn	P	S	Al	Nb	V	Ti	Mo	B
S355MC	1.0976	0,12	0,50	1,50	0,025	0,02	0,015	0,09	0,20	0,15	-	-

Súčasť bude vyrábaná po pároch v sérii 400000 ks/rok. Materiál vyrábanej súčasti je predpísaný S355MC, čo je za tepla valcovaná jemnozrnná oceľ určená ku tvárneniu za studena. K výrobe súčasti bude použitý plech o hrúbke 4 mm.

Tab. 2 Mechanické vlastnosti oceli S355MC [6].

Značka oceli	Číselné označenie	Medza klzu	Medza pevnosti	Ťažnosť	Minimálny polomer ohybu
		R_e [MPa]	R_m [MPa]	A [%]	R_{min} [mm]
S355MC	1.0976	355	430-550	23	2

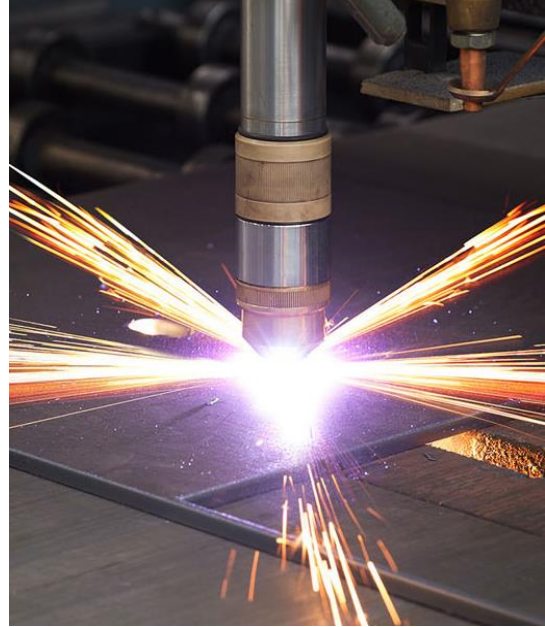


Obr. 2 Využitie lišty na paletovom regáli a model vyrábanej súčasti [7]

1.1 Variantné riešenie [2], [8], [9], [10], [11], [12], [13], [14], [15]

- Rezanie plazmou

Princíp rezania plazmou spočíva vo vháňaní neutrálneho plynu pod vysokým tlakom cez trysku horáku do nezávislého (zapaľovacieho) elektrického oblúka, ktorý sa zvyčajne vytvára vysokonapäťovou iskrou, čím sa tento plyn zionizuje a tým značne zlepši svoju elektrickú vodivosť. Po uzatvorení závislého (rezného) elektrického obvodu s povrchom rezaného materiálu sa vytvorí plazmový oblúk vysokej teploty, ktorý roztaví rezaný kov. Dynamickým účinkom plazmového plynu je natavený materiál odstránený z reznej medzery. K lepšiemu usmerneniu plazmového plynu je využívaný fokusačný plyn. Pre ochranu reznej plochy proti oxidačným javom a iným degradačným procesom materiálu pri rezaní sa využíva ochranný plyn vháňaný do miesta rezu po obvode horáku. Ako plazmový plyn sa používa vodík, dusík, argón alebo hélium. Plazmový oblúk dosahuje teploty až 24000 K. Táto technológia je vhodná na rezanie všetkých kovových materiálov do hrúbky až 250 mm. Hustota energie pri technológií rezania pomocou plazmy dosahuje hodnoty až $10^6 \text{ W}\cdot\text{cm}^{-2}$.



Obr. 3 Plazmová rezacia hlava [11]

Výhody metódy rezania plazmou sú hlavne v produktivite, veľkej hrúbke rezaného materiálu a nákupnej cene zariadenia na rezanie plazmou.

Nevýhodou je zlý povrch reznej plochy, veľká teplotne ovplyvnená oblasť, hlučnosť a veľká šírka rezu oproti špeciálnym technológiám rezania.

- Rezanie laserom

Laser je usmernený zväzok polarizovaného monochromatického elektromagnetického vlnenia. To je do reznej hlavy prenášané optickým vláknom. Emitovaný lúč sa v reznej hlave cez optickú sústavu zaostruje na zvolenú vzdialenosť. Energia pohltená materiálom pri dopade lúča lokálne taví materiál. Rezný plyn, vháňaný do rezu priamo z reznej trysky, vyfukuje natavený materiál a udržuje otvorenú „kľúčovú dierku“ (reznú medzeru) potrebnú pre prechod lúča cez celú hrúbku materiálu.



Obr. 4 Rezanie plechu laserom [12]

Podľa polohy ohniska laseru voči hrúbke materiálu a druhu použitého rezného plynu rozlišujeme druhy laserového rezania a to na oxidačné, sublimačné

a plazmové. Hustota energie pri technológií rezania pomocou plazmy dosahuje hodnoty až $10^8 \text{ W} \cdot \text{cm}^{-2}$.

Výhodou metódy je vysoká kvalita rezu (kolmost', presnosť) a rezná rýchlosť (pri použití skenovacej hlavy až násobne rýchlejšie).

Nevýhodou technológie laserového rezanie je vysoká nákupná cena a malá maximálna hrúbka rezaného materiálu.

- Rezanie vodným lúčom

Ide o usmernený, vysokotlaký prúd vody koncentrovaný na malú plochu rezaného materiálu pomocou rezacej hlavy. Takto koncentrovaný prúd vody má vysokú kinetickú energiu, potrebnú na prekonanie mechanických síl a následné odoberanie materiálu. Podľa rezaného materiálu sa do prúdu vody pridáva abrazivo. Rezacia hlava je najčastejšie ovládaná CNC strojom s presným polohovaním a veľkou pracovnou plochou.

Výhodami sú najmä kvalitný povrch rezu, vysoká presnosť, žiadne teplotné ovplyvnenie rezaného materiálu a možnosť rezať širokú škálu materiálov (aj mäkkých a pružných).

Nevýhoda je nutnosť vystaviť rezaný materiál pôsobeniu vody, čo je obzvlášť pri oceliach bez odolnosti voči korózií nežiadúce.

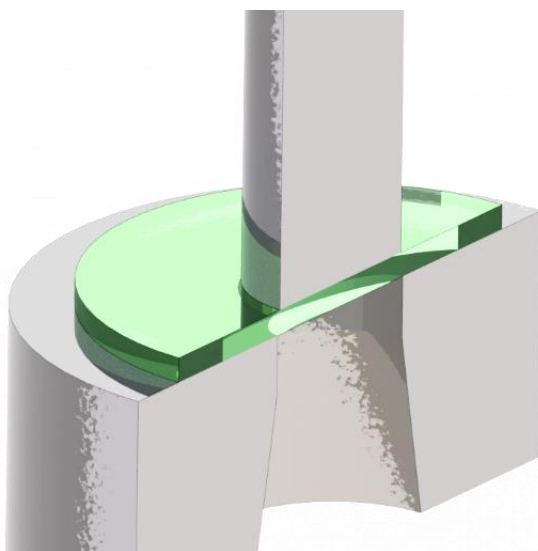
- Strihanie

Technológia strihania spadá do kategórie plošného tvárnenia za studena. Jej podstatou je delenie materiálu pomocou pôsobenia protibežných síl, vyvolávajúcich

v mieste strihu napätie presahujúce medzu pevnosti v strihu. Pri voľbe vhodnej strižnej medzery dochádza ku pružnej deformácii od vniknutia strižníku do materiálu. Pri zväčšovaní pôsobiach síl nastáva plastické pretvorenie až ku kontrolovanému dolomeniu materiálu. Táto technológia je beztriesková.

Strihanie je možné deliť podľa požadovanej presnosti na presné strihanie dosahujúce presnosti až IT6 a bežné strihanie ktoré sa podľa zvolených parametrov pohybuje v presnostiach IT14 až IT9.

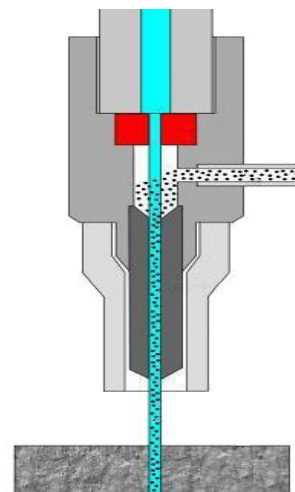
Medzi výhody strihania patrí jeho vysoká produktivita, vhodnosť na



Obr. 6 Schéma jednoduchého strižného nástroja

veľké série, možnosť zakomponovať technológiu do postupového nástroja pre ešte vyššiu produktivitu.

Nevýhodou je vysoká nákupná cena nástroja, jeho jednoúčelovosť, zdĺhavejší proces návrhu, konštrukcie a ladenia nástroja.



Obr. 5 Schéma rezacej hlavy [13]

- Ohýbanie na ohraňovacom lise

Technológia ohýbania patrí do kategórie plošného tvárnenia za studena. Za pomoci protibežných síl, pôsobiacich v iných miestach materiálu, vzniká v materiáli ohybový moment. Naťahovaním a zároveň skracovaním vlákien materiálu vnútorné napätia presahujú medzu klzu a deformácia sa stáva plastickou. Ohyb je možno rozdeliť podľa tvaru na ohyb do V a do U.

Na tvorbu ohybov je často používaná metóda ohýbania na ohraňovacom lise. Ohraňovací lis je špeciálny druh lisu s činným členom značne širším ako hrubším, čo vytvára dostatok priestoru na rôzne, požadované ohyby. Na ohraňovanie existuje široká škála nástrojov, ktorých tvar určuje ich možnosti ohybu. V jednom ohraňovacom lise môže byť súčasne upnutých niekoľko nástrojov.

Výhody ohraňovania sú hlavne vysoká variabilita a rýchlosť výmeny nástrojov.

Medzi nevýhody patrí nutnosť kusového prístupu obsluhy a tým pádom narastá čas a cena výroby väčších sérií.

- Ohýbanie v nástroji

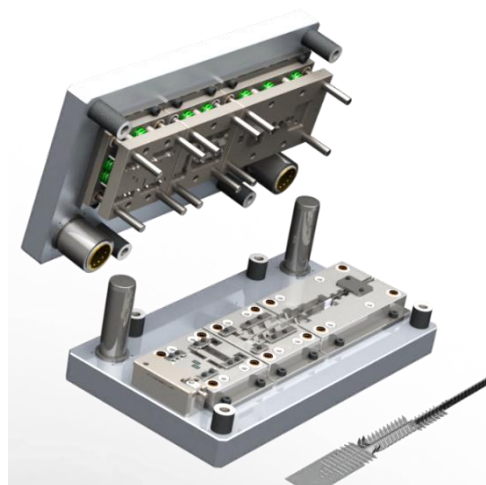
Pre ohýbanie väčších sérií je ekonomicky výhodné vyrobiť špeciálny jednoúčelový nástroj. Ten môže byť jedno alebo viac operačný. Ohýbaný polotovar je do nástroja vkladáný ručne alebo strojovo. Pohyblivým nástrojom pri ohybe je ohybník. Statickým nástrojom je ohybnica. Podľa tvaru ohybu rozdeľujeme ohýbanie na ohyb do tvaru V a do tvaru U.

Výhoda ohýbania v nástroji je vyššia produktivita, menšie nároky na obsluhu stroja a možnosť implementovať metódy ako kalibrácia alebo rebrovanie pri ohybe.

Nevýhodou je jednoúčelovosť, väčšie náklady na výrobu a návrh nástroja a časová náročnosť pri osádzaní nástroja do vhodného stroja.



Obr. 7 Detail ohýbacích nástrojov [14]



Obr. 8 Príklad postupového združeného nástroja [15]

Pre výrobu regálovej lišty bol vybraný ako najekonomickejší variant výroby strih a ohyb v nástroji. Aj napriek vyššej výrobnej cene nástrojov a potreby výkonného lisovacieho stroja, sa pri veľkých výrobných sériách ukazuje tento variant ako najvýhodnejší. Materiál, vo forme zvitku požadovanej šírky, bude do nástroja posúvaný presnou podávačkou a zo zvitku odvíjaný a rovnaný odvíjacou linkou. Vyrábaný diel bude vyrábaný technológiou strihania a ohýbania, na čo bude zameraná teoretická aj návrhová časť tejto práce.

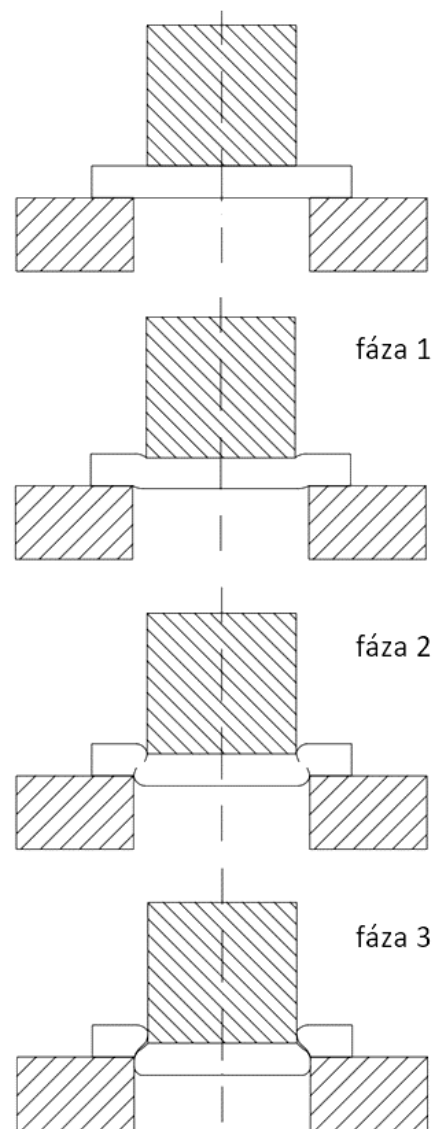
2 TEÓRIA [2], [16]

Pre správne zvládnutie výrobného procesu súčasti je zásadné úplné a správne pochopenie teórie využívaných technológií výroby. Každá technológia má niekoľko hlavných parametrov, ktorých voľbou ovplyvňujeme optimálnosť výroby a to napríklad presnosť a kvalitu povrchu výrobku, životnosť nástroja alebo ekonomickosť výroby. Správne parametre získame pomocou výpočtov, tabuliek alebo grafov. Zvolené technológie výroby patria medzi najrozšírenejšie spomedzi plošného tvárnenia za studena.

2.1 Strih [1], [2], [16]

Strihanie je základná technológia beztrieskového delenia materiálu. Deje sa tak pôsobením rovnobežných proti sebe pôsobiacich síl. To v materiáli vyvolá napätie presahujúce medzu pevnosti v strihu a dôjde ku deleniu materiálu pozdĺž strižnej hrany. Strihanie sa delí na voľné a uzavreté podľa nástrojov použitých ku strihu. Proces strihania dokážeme rozdeliť na niekoľko fáz, počnúc dotykom strižníka a strihaného materiálu až po oddelenie materiálu v strižnej rovine.

- Prvá fáza
Dochádza v nej ku dotyku a postupnému vnikaniu strižníka do strihaného materiálu. V strihanom materiáli dochádza k elastickým deformáciám (napätie v zaťažovanej oblasti materiálu nepresahuje medzu klzu R_e). Kolmo ku strižnej rovine pôsobia silové dvojice spôsobujúce ohyb materiálu. To sa deje zhruba pri vniknutí strižníka do 5-8 % hrúbky strihaného materiálu, v závislosti od mechanických charakteristík materiálu a zvolených strižných parametrov.
- Druhá fáza
Postupným vnikaním strižníka sa zväčšuje napätie v materiáli. Keď napätie presiahne medzu klzu, materiál sa deformuje plasticky. Druhá fáza strihu (fáza plastických deformácií) sa odohráva pri vniknutí strižníka, obvykle v rozmedzí 10-25 % do hrúbky materiálu.
- Tretia fáza
Pri prekročení napätia pôsobiaceho v rovine strihu nad hodnotu medze pevnosti v strihu dochádza ku vyčerpaniu plasticity materiálu a vzniku mikrotrhlín. Materiál je v tejto fáze namáhaný pôsobením ťahového a tlakového napätia (σ_1 , σ_3) ako aj šmykového napätia τ_{\max} spôsobeného trením v materiáli. Mikrotrhliny vznikajú v smere



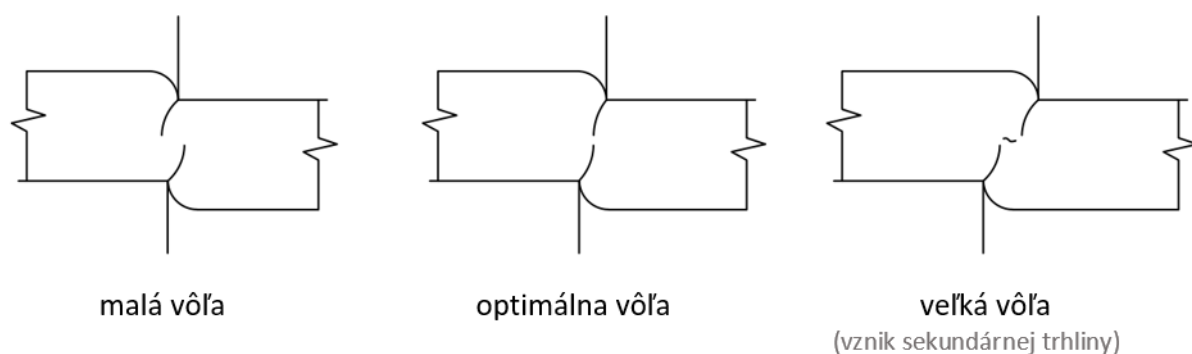
Obr. 9 Fázy strihania [2]

pôsobiacich maximálnych šmykových napätí τ_{\max} a sú rozťahované (roztvárané) pôsobením normálového napätia σ_n . Po rozšírení trhlín po celej hrúbke strihaného materiálu dôjde ku dolomeniu a vytlačeniu vystrihnutého materiálu. Rovinný (dvojosý) stav napätosti uvažujeme pri strihaní materiálu normálnych hrúbok. Pri strihaní malých hrúbok materiálu nemožno uvažovať $\sigma_2=0$.

2.1.1 Strižná vôľa a povrch [2], [17], [18], [19]

Je jedným z najpodstatnejších parametrov pri strihaní. Strižná vôľa je rozdielom pracovných rozmerov strižníku a strižnice. Jednostranná vôľa sústavy sa nazýva strižná medzera (z). Jej správnou voľbou zaručíme najlepšiu kvalitu strižnej plochy pri najnižšej potrebnej strižnej sile a práci. Podstatné je dodržať rovnakú strižnú medzeru po celom obvode strihu. Pri voľbe zlej strižnej vôle alebo jej nerovnomernom rozložení dochádza ku nechcenému ohybu strihaného materiálu, tvorbe otrepev a zhoršeniu rozmerovej presnosti a kvality strižnej plochy.

Ako je možné vidieť na obrázku 10, podstatou je umožniť šíriacim sa trhlinám spojiť a vytvoriť tak rovnú a kvalitnú strižnú plochu.



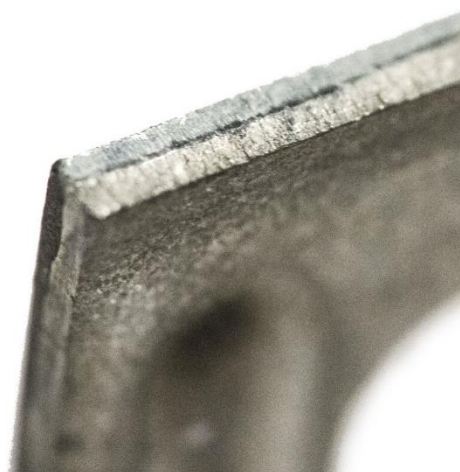
Obr. 10 Šírenie trhlín pri rôznych strižných vôľach [19]

Pri voľbe veľkej strižnej vôle sa trhliny nestretnú a vzniká sekundárna trhlina spájajúca hlavné trhliny tvoriace strižnú plochu. Kvalita povrchu sa zhoršuje a potrebná práca a sila narastá. Pri príliš veľkej strižnej vôli dochádza dokonca k tvorbe triesky, čo je nežiaduce a môže to negatívne ovplyvniť životnosť nástroja.

Voľbou malej strižnej vôle dochádza ku „dvojitému strihu“ a tým pádom značnému nárastu strižnej sily a práce, čo znižuje životnosť a zväčšuje prevádzkové náklady nástroja. Kvalita strižnej plochy nie je vyhovujúca ale môže sa tak doceliť menšieho ohybu pri počiatočných fázach strihu.

Strižná vôľa sa odvodzuje najmä z hrúbky strihaného materiálu a jeho mechanických vlastností.

Na jej určenie existuje niekoľko prístupov. Často ide iba o pomer hrúbky strihaného materiálu (pri oceli 20 %, pri hliníkových zliatinách 15 %), dá sa odčítať z príslušných tabuliek v norme ČSN 22 6015 alebo spočítať pomocou príslušných vzťahov:



Obr. 11 Detail strižnej plochy

Pevnosť materiálu v strihu:

$$\tau_s = 0,8 \cdot R_m \quad (2.1)$$

kde: τ_s – pevnosť materiálu v strihu [MPa]

R_m – medza pevnosti v ťahu [MPa]

Strižná vôľa:

$$v_s = 2 \cdot z = 2 \cdot (c_s \cdot s \cdot 1,5 - 0,0015) \cdot 0,32 \cdot \sqrt{\tau_s} \quad (2.2)$$

kde: v_s – strižná vôľa [mm]

z – strižná medzera [mm]

c_s – súčiniteľ strižnej vôle (0,005 ÷ 0,035) [-]

s – hrúbka materiálu [mm]

2.1.2 Sila a práca [2], [17], [20]

Pre správny návrh konštrukcie nástroja a voľbu vhodného tvárniaceho stroja je podstatné dokázať čo najpresnejšie určiť pôsobiace sily pri strihaní. Pri jej určení treba uvažovať aj vplyv deformačného spevnenia hlavne húževnatých materiálov pri ich plastickom pretváraní, ktoré zvyšuje strižný odpor. Matematický model výpočtu strižnej sily uvažuje o procese ako o čistom šmyku. V reálnej výrobe však dochádza ku kombinovanému namáhaniu a treba tak uvažovať o zväčšení strižnej sily (20 ÷ 50 %).

Priebeh strižnej sily v závislosti na polohe nástroja voči strihanému materiálu je znázornený na obrázku 12. Je možné ho rozdeliť na dve fázy:

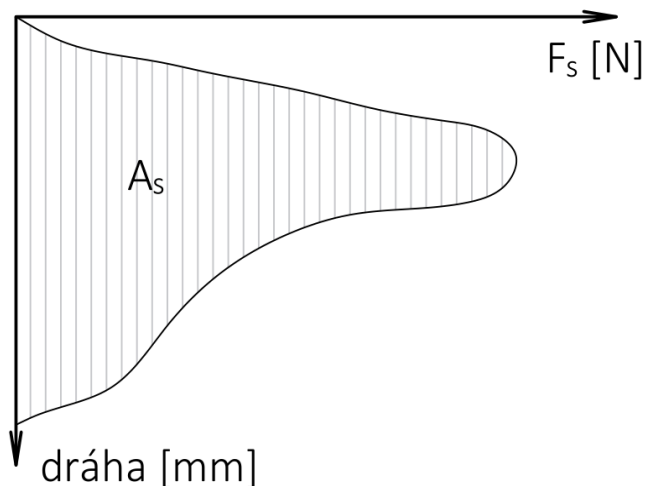
- Do oddelenia strihaného materiálu

Strižná sila postupne rastie.

Dochádza ku prekonaniu elastických deformácií od vnikajúceho strižníka, cez plastické zatlačenie materiálu kde aj napriek zmenšujúcej sa ploche strihu dochádza k nárastu sily vplyvom deformačného spevnenia. Pri vyčerpaní plasticity materiálu vznikajú prvé trhliny (nástrih) a strižná sila začína klesať.

- Po oddelení strihaného materiálu

Šírením trhlín dochádza ku porušeniu strihaného materiálu lomom (S-tvar strižnej plochy) a strižná sila prudko klesá. V tejto fáze sa prejavuje hlavne odpor materiálu pri vzájomnom otere ku ktorému dochádza pri vytláčaní výstrižku cez zakrivenú strižnú plochu.



Obr. 12 Strižná sila v závislosti na polohe nástroja [2]

Podľa húževnatosti materiálu majú tieto fázy rôzny vzájomný pomer. U viac húževnatých materiálov dochádza ku nástrihu neskôr a naopak pri materiáloch krehkých sa vyčerpá plasticita už pri malom zaborení strižníku do strihaného materiálu.

Veľkosť strižnej sily je priamo závislá od pevnosti materiálu v strihu, jeho hrúbke, dĺžky strižnej plochy, súčiniteľa otupenia nástroja (opotrebenie a geometria strižných hrán, veľkosť strižnej vôle). K výpočtu strižnej sily používame výpočtový vzťah:

$$F_s = s \cdot l_s \cdot \tau_s \cdot n \quad (2.3)$$

kde: F_s – strižná sila [N]

l_s – dĺžka strižnej plochy (krivky strihu) [mm]

n – súčiniteľ otupenia nástroja (1,25 ÷ 1,5) [-]

Strižnú prácu možno definovať ako integrál krivky vyjadrujúcej závislosť priebehu strižnej sily na polohe strižnice voči hrúbke strihaného materiálu. Reálne a presné určenie strižnej práce nie je jednoduché a preto sa k výpočtu využíva zjednodušenia tvaru reálnej krivky na eliptickú krivku. Jej poloosi sú tvorené hodnotami maximálnej strižnej sily a hrúbky strihaného materiálu a celkovú strižnú prácu spočítame podľa vzťahu:

$$A_s = \frac{F_s \cdot s \cdot \gamma}{1000} \quad (2.4)$$

kde: A_s – strižná práca [J]

γ – súčiniteľ zaplnenia diagramu (0,3 ÷ 0,7) [-]

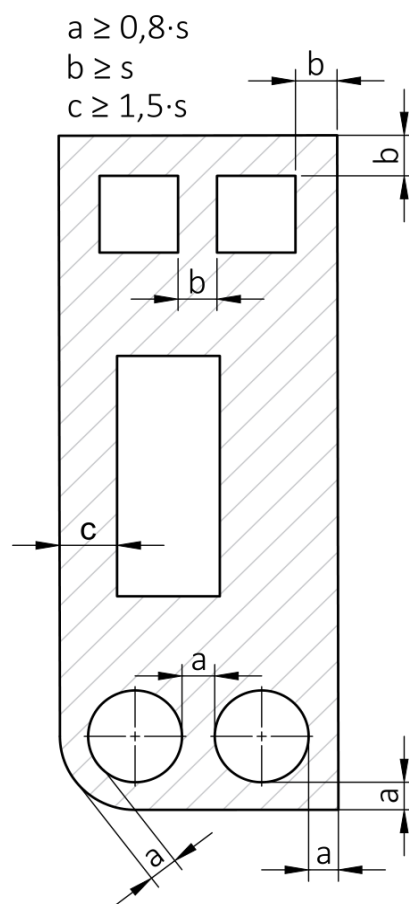
2.1.3 Technologické zásady [1], [21], [22], [23]

Pri konštrukcii dielov vyrábaných technológiou strihania je nutné uvažovať a zohľadňovať určité technologické zásady. Správna voľba technologických parametrov a konštrukcie dielov má dopad na výslednú kvalitu, ekonomickosť a životnosť nástrojov. Pokiaľ to nie je konštrukčne možné, je nutné zvážiť váhu následkov a uskutočniť experiment, pomocou ktorého sa rozhodne o vhodnosti riešenia aj napriek nedodržaniu predpísaných zásad. Zásady sa môžu upravovať podľa hrúbky a pevnosti strihaného materiálu.

Z ekonomického hľadiska je najpodstatnejšia správna voľba nástrihového plánu. Môžu sa tak nielen ovplyvniť mechanické vlastnosti vyrábaných dielov (smer vlákien) ale hlavne využiť čo najväčšie percento vstupného materiálu. Cena materiálu, pri väčších výrobných sériách, tvorí až 90 % z celkových nákladov a preto aj malá úspora na jednom diele môže znamenať veľkú zmenu celkových nákladov veľkej série.

Zásady technologickosti pri konštrukcii výstrižkov:

- Minimálne vzdialenosti otvorov sú znázornené na obrázku 13.
- Predpisovanie geometrických tolerancií kolmosti a rovinosti na strižné plochy nie je pri bežnom strihu možné.
- Drsnosť strižných plôch uvažovať pri bežnom strihu $Ra=3,2 \div 6,3$ alebo viac.



Obr. 13 Minimálne vzdialenosti otvorov [21]

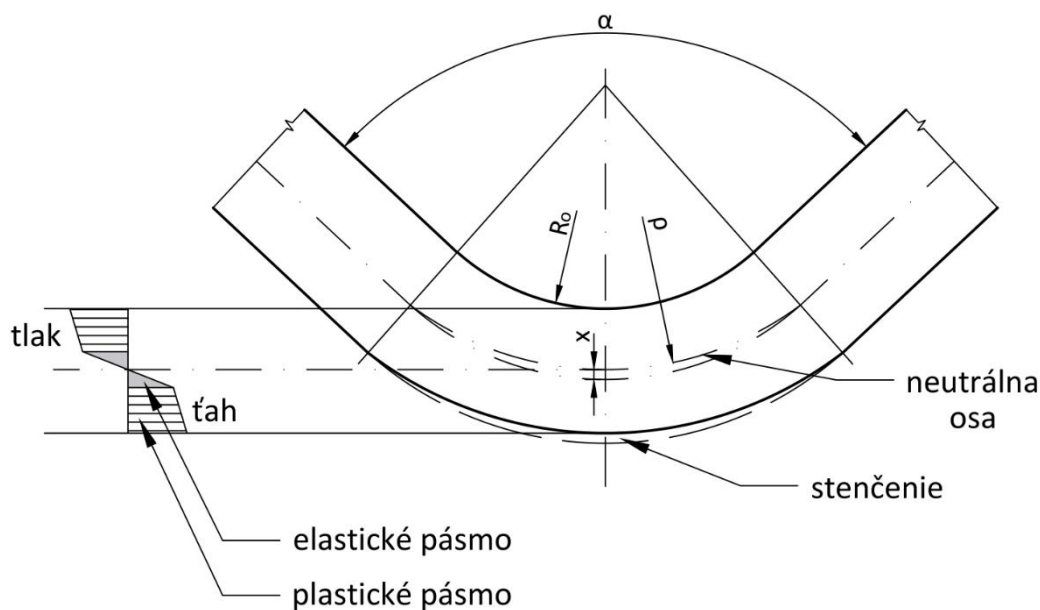
- Pri bežnom strihaní sa presnosť pohybuje v intervale IT 12÷14, pri použití dorazov a hľadákov IT 9÷11.
- Doporučuje sa upraviť tvar výstrižku aby neobsahoval ostré rohy.
- Pre otvory je vhodnejší kruhový tvar pre nižšiu cenu výroby strižníku a strižnice.
- Kruhový tvar výstrižku nie je ekonomický pre veľký odpad. Najekonomickejšie sú symetrické nekruhové výstrižky.
- Využitie materiálu ideálne nad 70 %.
- Minimálne rozmery otvorov sú uvedené v tabuľke 3.

Tab. 3 minimálny rozmer strihaných otvorov [22].

Materiál		Oceli menších pevností	Oceli väčších pevností
Minimálny priemer kruhového otvoru	[mm]	1·s	1,5·s
Minimálna dĺžka hrany nekruhového otvoru	[mm]	0,8·s	1,2·s

2.2 Ohyb [1], [2], [16], [24]

Pri tvorbe výrobkov za využitia možností plošného tvárnenia je ohýbanie veľmi významná a často využívaná technológia. Ide o pružne-plastické pretvorenie materiálu pozdĺž osy ohybu pomocou pôsobenia síl, vytvárajúcich v materiáli ohybový moment, od ohýbacieho nástroja.



Obr. 14 Schéma ohybu a priebeh napätí v materiáli [1]

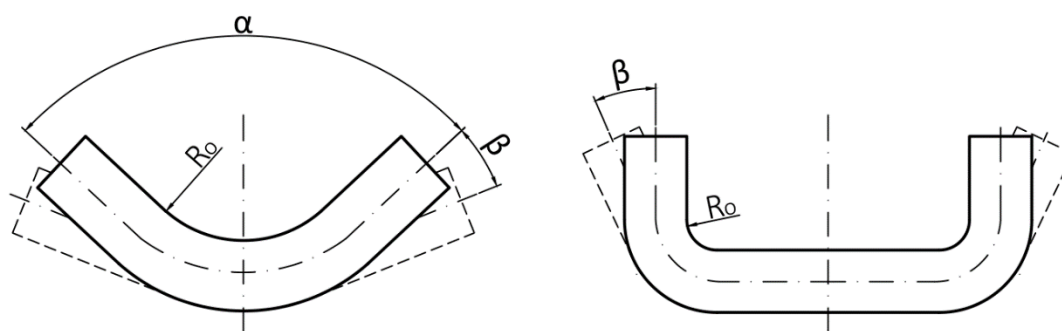
Ohýbajú sa najčastejšie plechové, trubkové a iné profilové polotovary. Štandardne prebieha proces ohýbania bežných, tvárných materiálov za studena, avšak pri materiáloch väčších pevností sa odporúča použiť predohrev. Pre proces ohýbania materiálu sú zásadné mechanické vlastnosti materiálu, hrúbka materiálu a geometria (uhol a polomer) ohybu. K ohybu sa využívajú ohýbadlá, pozostávajúce z ohybníku a ohybnice. Ohýbanie je možné podľa geometrie rozdeliť na ohyb do tvaru V a ohyb do tvaru U.

Proces ohýbania začína v chvíli dotyku ohybníku s materiálom. Postupným vnikaním ohybníku do ohýbaného materiálu narastá v mieste ohybu v materiáli napätie a dochádza k elastickej (pružnej) deformácii. Pri prekročení medze klzu ohýbaného materiálu začína fáza plastickej (trvalej) deformácie.

V mieste ohybu dochádza v ohýbanom materiáli ku rovinnému stavu napätosti. Jeho priebeh v celej hrúbke ohýbaného materiálu je názorný z obrázku 14. Vo vnútorných vrstvách (bližšie ku ohybníku) dochádza ku stláčaniu materiálu v pozdĺžnom smere a ku ťažovaniu v smere priečnom. Pre vrstvy vonkajšie (bližšie ku ohybníku) tomu je naopak a materiál je ťažovaný v pozdĺžnom a stláčaný v priečnom smere. Vrstva v ktorej napätia neprekračujú medzu klzu a teda nedochádza ku plastickej deformácii materiálu sa nazýva neutrálna vrstva. Spojnicou stredov týchto vrstiev v celej oblasti ohybu dostávame neutrálnu osu. So zmenšujúcim sa polomerom a zväčšujúcim sa uhlom ohybu sa neutrálna osa posúva smerom ku vnútornej ploche ohybu. Znalosť posunutia neutrálnej osy je podstatná najmä pre výpočet dĺžky polotovaru v rozvinutom stave.

2.2.1 Odpruženie [1], [2], [23] , [24]

Pri odľahčovaní ohýbaného materiálu pôsobiace napätie v materiáli klesne pod medzu klzu, čo spôsobí spätnú deformáciu materiálu z oblasti elastických deformácií do pôvodného tvaru.



Obr. 15 Odpruženie pri ohybe do tvaru V a U [1]

Výsledná geometria ohýbaného polotovaru preto nie je totožná s geometriou ohýbadiel. Veľkosť rozdielu geometrií pri ohybe nazývame odpružením. Vplyv odpruženia na výslednú geometriu treba uvažovať pri návrhu nástroja. Využívané sú dva prístupy, a to:

- Úprava geometrie nástroja

Veľkosť odpruženia je možno určiť pomocou výpočtu, orientačne ju možno odčítať z tabuliek alebo z príslušných diagramov. Použitý diagram musí zodpovedať hlavným parametrom ohybu (mechanické vlastnosti materiálu, uhol a polomer ohybu, hrúbka materiálu, pomer polomeru ohybu ku hrúbke materiálu). Pre výpočet veľkosti odpruženia pri ohybe do tvaru V slúži vzťah:

$$\tan \beta = 0,375 \cdot \frac{l_v}{k \cdot s} \cdot \frac{R_e}{E} \rightarrow \beta \quad (2.5)$$

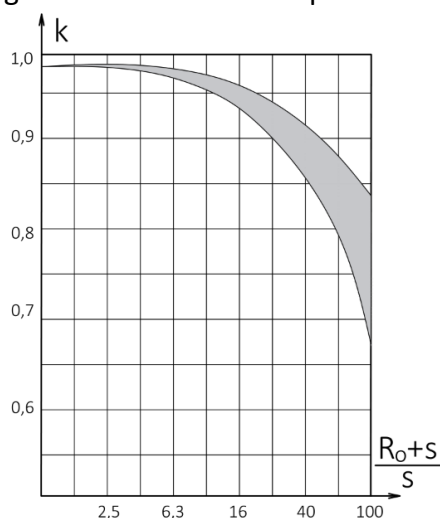
kde: β – uhol odpruženia [°]

l_v – vzdialenosť medzi podporami [mm]

k – koeficient odpruženia ohybu [-]

E – modul pružnosti v ťahu ($2,1 \cdot 10^5$) [MPa]

R_e – medza klzu [MPa]



Obr. 16 Diagram na určenie koeficientu k [2]

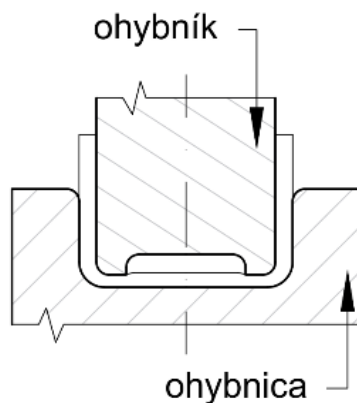
Pre výpočet odpruženia pri ohybe do tvaru U slúži vzťah:

$$\tan \beta = 0,75 \cdot \frac{l_u}{k \cdot s} \cdot \frac{R_e}{E} \rightarrow \beta \quad (2.6)$$

kde: l_u – vzdialenosť medzi podporou a ohybníkom [mm]

Pri návrhu ohýbadiel prispôsobíme geometriu (zmenšíme uhol ohybu) tak, aby uhol ohybu polotovaru po odpružení zodpovedal požadovanej geometrii, predpísanej v technickej dokumentácii vyrábaného dielu.

Elimináciu odpruženia dosiahneme aj zmenou tvaru ohýbadiel. Najpoužívanejšie sú ohybníky, plasticky deformujúce materiál v okolí ohybu (obrázok 17) alebo využívanie rebrovania pri ohybe (obrázok 18).



Obr. 17 Eliminácia odpruženia [2]



Obr. 18 Príklad využitia rebrovania

- Kalibrácia pri ohybe

Obmedzenie vplyvu elastických deformácií pri odťahovaní polotovaru po ohýbaní je možné za využitia procesu kalibrácie. Po dotlačení ohybníku do jeho najnižšej polohy sa ohýbacia sila začne značne zväčšovať a materiál, zaťažovaný tlakom, sa pečuje. Dochádza tak ku plastickej deformácii, ktorá zmenší, prípadne úplne odstráni napätia v oblasti elastických deformácií. Po odťazení preto nedochádza ku odpruženiu. Nevýhodou kalibrácie je značný nárast ohýbacej sily, čo negatívne vplyva na životnosť nástroja a na ekonomickosť výroby.

2.2.2 Sila a práca [1], [2], [9], [16], [25]

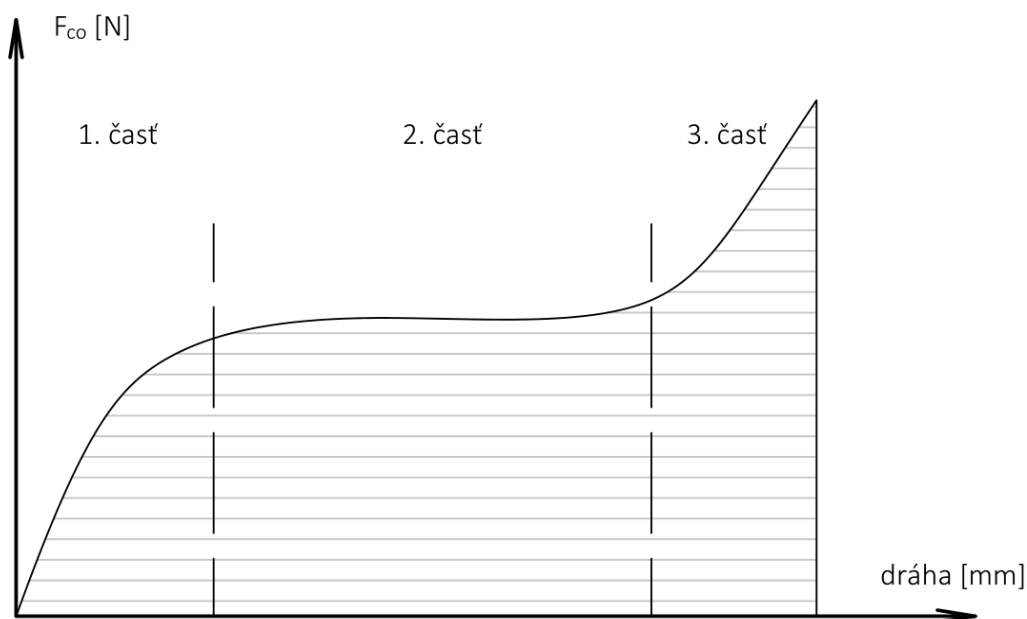
Na silové pomery pri procese ohýbania má zásadný vplyv niekoľko faktorov. Mechanické vlastnosti materiálu, jeho hrúbka a dĺžka v ose ohybu, polomer ohybu, trenie medzi materiálom a ohýbadlami a prípadné využitie metódy kalibrácie.

Veľkosť ohýbacej sily sa mení v závislosti od zdvihu nástroja (obrázok 19). Priebeh pôsobiacich externých ohýbajúcich síl od ohýbadiel na ohýbaný materiál možno rozdeliť na 3 intervaly.

V prvej časti zaťaženia dochádza ku vymedzeniu vôľi a ku prvotnej elastickej deformácii. Napätie v materiáli nepresahuje medzu klzu a tak by sa po odťazení v prvej fáze materiál vrátil do pôvodného tvaru.

V druhej časti pri zvyšovaní vonkajšieho silového zaťaženia, vzrastajú v materiáli v mieste ohybu napätia a dochádza ku prekročeniu medze klzu. Dochádza ku plastickej deformácii materiálu, pričom ohýbacia sila rastie s dráhou nástroja len mierne.

V tretej, kalibračnej, časti dochádza ku prudkému nárastu sily. Materiál je v mieste ohybu plasticky pretvorený (je prekročená medza elasticity v tlaku) a potlačia sa tak elastické napätia spôsobujúce odpruženie.



Obr. 19 Priebeh celkovej ohýbacej sily [1]

Veľkosť ohýbacej sily ohybu do tvaru V je možno spočítať podľa nasledujúceho vzťahu:

$$F_{ov} = \frac{b \cdot s^2 \cdot R_e}{2 \cdot R_o} \cdot \tan \frac{\alpha}{4} \quad (2.7)$$

kde: F_{ov} – ohýbacia sila (tvar ohybu V) [N]

b – šírka polotovaru [mm]

R_o – polomer ohybu [mm]

α – uhol ohybu [°]

Veľkosť ohýbacej sily ohybu do tvaru U je možné spočítať podľa vzorca:

$$F_{ou} = \frac{b \cdot s^2 \cdot R_e}{R_o + s} \cdot (1 + 7 \cdot f) \quad (2.8)$$

kde: F_{ou} – ohýbacia sila (tvar ohybu U) [N]

f – súčiniteľ trenia [-]

Pri použití metódy kalibrácie pri ohybu, bude výsledná ohýbacia sila navýšená o silu kalibračnú, vypočítateľnú podľa nasledujúceho vzťahu:

$$F_k = S \cdot p \quad (2.9)$$

kde: F_k – kalibračná sila [N]

S – plocha polotovaru v styku s nástrojom [mm²]

p – merný kalibračný tlak [MPa]

Tab. 4 Merný tlak pre kalibráciu [25].

Medza pevnosti materiálu	jednotka	Merný kalibračný tlak	jednotka
< 450	[MPa]	110	[MPa]
≥ 450	[MPa]	125	[MPa]

Medzi tvárneným polotovarom a nástrojom vzniká trenie, ktoré znateľne zvyšuje ohýbaciú silu a bežne sa stanovuje podľa rovnice:

$$F_t = \frac{1}{3} \cdot F_o \quad (2.10)$$

kde: F_t – trecia sila [N]

Pri použití pridržiavača pri ohybe sa sila potrebná pridržiavača uvažuje ako pomer ohýbacej sily. Silu pridržiavača je možné vypočítať podľa vzorca:

$$F_p = \frac{1}{4} \cdot F_o \quad (2.11)$$

kde: F_p – pridržiavacia sila [N]

Celková vypočítaná ohýbacia sila pri ohybe do V potom bude:

$$F_{cov} = F_{ov} + F_k + F_t + F_p \quad (2.12)$$

kde: F_{cov} – celková ohýbacia sila (tvar ohybu V) [N]

Pri ohybe do U sa vplyv trenia uvažuje už pri výpočte ohýbacej sily a preto pre celkovú ohýbaciú silu platí:

$$F_{cou} = F_{ou} + F_k + F_p \quad (2.13)$$

kde: F_{cou} – celková ohýbacia sila (tvar ohybu U) [N]

Ohýbacia práca je priamo závislá od celkovej ohýbacej sily a pracovného zdvihu. Pre ohyb do tvaru V je ju možné spočítať podľa rovnice:

$$A_{ov} = F_{cov} \cdot h_o \cdot m \quad (2.14)$$

kde: A_{ov} – ohýbacia práca (tvar ohybu V) [J]
 h_o – pracovný zdvih ohybníku [mm]
 m – koeficient zaplnenia diagramu („V“ - $m \approx 0,33$; „U“ - $m \approx 0,67$) [-]

Pre ohyb do tvaru U je možné ju spočítať podľa vzťahu:

$$A_{ou} = F_{cou} \cdot h_o \cdot m \quad (2.15)$$

kde: A_{ou} – ohýbacia práca (tvar ohybu U) [J]

2.2.3 Dĺžka polotovaru [1], [16]

Pre stanovenie dĺžky polotovaru je nutné poznať dĺžku neutrálnej osy. Pri ohybe sa však neutrálna osa posúva ku vnútornej strane ohybu. Veľkosť posunu je závislá od polomeru a hrúbky ohýbaného materiálu. Obecne platí že pri ohybe hrubších plechov je posun neutrálnej osy výraznejší a pri ohybe tenkých plechov je naopak zanedbateľný. Ku výpočtu dĺžky neutrálnej osy je potrebné poznať polomer neutrálnej osy, ktorý sa vypočíta takto:

$$\rho = R_o + x \cdot s \quad (2.16)$$

kde: ρ – polomer neutrálnej osy [mm]
 x – súčiniteľ posunutia neutrálnej osy [-]

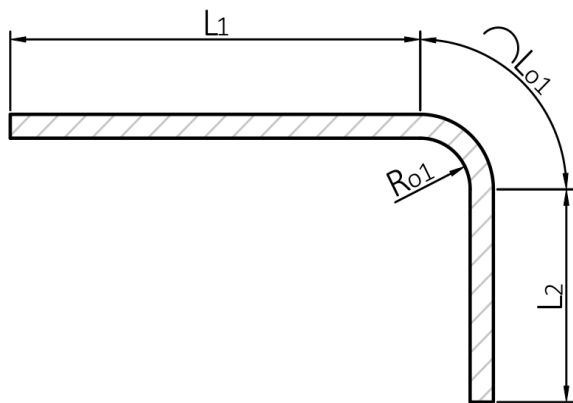
Tab. 5 Určenie súčiniteľa posunutia neutrálnej osy [16].

Pomerný rádiu ohybu (R_o/s)	0,5	0,75	1,0	2,0	3,0	4,0	5,0	10,0
Súčiniteľ posunu neutrálnej osy (x)	0,380	0,400	0,420	0,445	0,470	0,475	0,478	0,486

Uhol ohnutého úseku je pri pravouhlom ohybe rovnaký ako uhol ohybu ($\alpha = \varphi = 90^\circ$). Ak je však uhol ohybu iný ako pravý, tak sa spočíta uhol ohnutého úseku takto:

$$\varphi = 180^\circ - \alpha \quad (2.17)$$

kde: φ – uhol ohnutého úseku $[\circ]$



Pre výpočet dĺžky neutrálnej osy je potrebné postupovať podľa nasledujúceho vzťahu:

$$L_o = \frac{\pi \cdot \varphi \cdot \rho}{180} \quad (2.18)$$

kde: L_o – dĺžka neutrálnej osy [mm]

Celková dĺžka polotovaru je potom súčet všetkých čiastkových dĺžok výsledného dielu:

$$L_c = L_1 + L_{o1} + L_2 + \dots + L_n \quad (2.19)$$

kde: L_c – celk. dĺžka polotovaru [mm]

Obr. 20 Schéma ohýbanej súčasti

2.2.4 Minimálny a maximálny polomer ohybu [1], [2], [16]

Pri ohybe môže nastať niekoľko problémov. Medzi hlavné patria praskanie a vlnenie materiálu v ohýbanej oblasti. Najčastejšie je to spôsobené voľbou malého polomeru ohybu, zlým odhadom/výpočtom spevnenia materiálu alebo nesprávnou voľbou plánu ohybu (nedodržiavanie zásad ohýbania).

Aby sa minimalizovali tieto riziká, je nutné správne určiť minimálny a maximálny polomer ohybu.

- Minimálny polomer ohybu

Veľkosť minimálneho polomeru ohybu je závislá od niekoľkých parametrov, najmä mechanické vlastnosti materiálu, geometria a spôsob ohybu. Pri nedodržaní minimálneho polomeru ohybu, napätie vo vonkajších, naťahovaných, vrstvách prekročí medzu pevnosti a dochádza ku porušeniu súdržnosti materiálu.

Určiť veľkosť minimálneho polomeru ohybu je možné pomocou jednoduchej úmery, kde pre bežnú oceľ platí minimálny polomer ohybu sa rovná približne polovici hrúbky materiálu. Pre presné určenie minimálneho polomeru ohybu je nutný výpočet podľa vzťahu:

$$R_{o \min} = \frac{s}{2} \cdot \left(\frac{1}{\varepsilon_{t \max}} - 1 \right) \approx c \cdot s \quad (2.20)$$

kde: $R_{o \min}$ – minimálny polomer ohybu [mm]

$\varepsilon_{t \max}$ – trvalá pomerná deformácia [-]

c – súčiniteľ ohybu (pre mäkkú oceľ $c=0,5 \div 0,6$) [-]

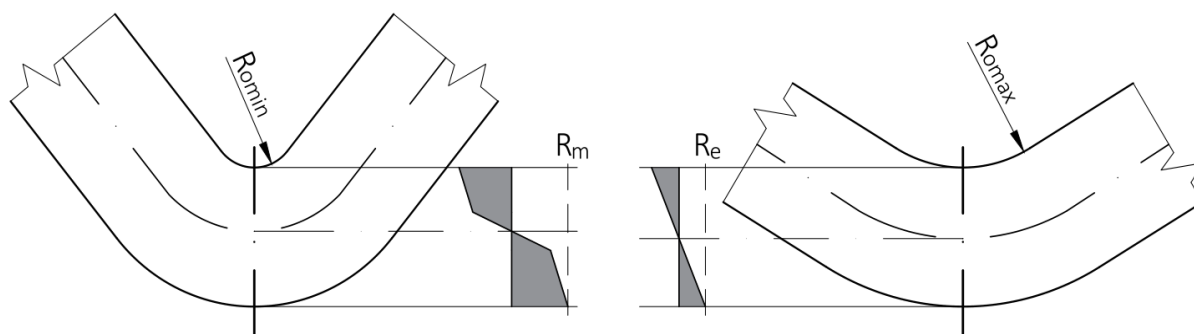
- Maximálny polomer ohybu

Pri ohýbaní sa postupne zvyšuje napätie v materiáli, až presiahne medzu klzu, kde sa ohyb stáva trvalým (dochádza ku plastickým deformáciám). Pri veľkých polomeroch ohybu môže dôjsť ku stavu, kedy napätie v materiáli neprekročí medzu klzu a po odľahčení sa materiál vráti do pôvodného tvaru.

Aby sa takýmto stavom predišlo, treba vypočítať maximálny polomer ohybu pre daný materiál. Pre výpočet možno použiť vzťah:

$$R_{o \max} = \frac{s}{2} \cdot \left(\frac{E}{R_e} - 1 \right) \quad (2.21)$$

kde: $R_{o \max}$ – maximálny polomer ohybu [mm]



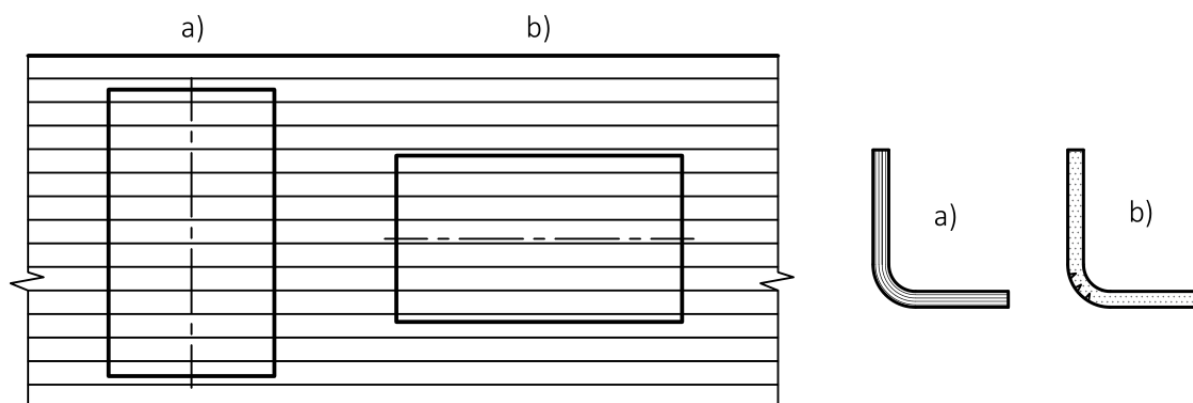
Obr. 21 Schematické zobrazenie napätostných stavov pri minimálnom a maximálnom polomere ohybu [1]

2.2.5 Technologické zásady [16], [23], [26], [27], [28]

Pri hodnotení technologických zásad ohýbaných súčastí je zásadná znalosť mechanických vlastností materiálu, odpruženia pri ohybe, deformácia profilu ohýbanej súčasti v mieste ohybu a minimálny polomer ohybu. Pri návrhu technologického riešenia výroby danej súčasti je potrebné tiež zohľadniť nedokonalosti materiálu a celého procesu ohybu (vôľa nástroja, neúplné

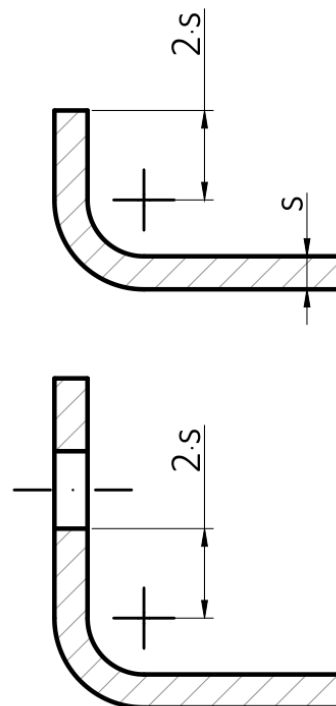
Základné zásady správnej technológie ohybu:

- Polomer ohybu by mal byť čo najmenší, z dôvodu menšieho odpruženia pri ohybe na malý polomer.
- Pri veľkých polomeroch ohybu je nutné použiť rebrovanie alebo výraznú kalibráciu pre elimináciu odpruženia.
- Osa ohybu by mala byť kolmá ku smeru vlákien materiálu, vznikajúcich pri valcovaní plechu (obrázok 22).



Obr. 22 Schéma orientácie ohýbanej súčasti voči smeru vlákien materiálu [27]

- Ak nie je možné ohyb správne orientovať, hrozí praskanie vonkajších vrstiev materiálu a je nutné materiál pred ohýbaním vyžehať, prípadne experimentálne overiť spoľahlivosť ohybu.
- V mieste ohybu je nutné uvažovať so stenčením materiálu až o 25 %.
- Tolerancie uhlu ohybu musia zodpovedať použitej technológii ohybu.
- Vzdialenosť otvorov od osy ohybu musí byť minimálne dvojnásobok hrúbky ohýbaného materiálu (obrázok 23), inak hrozí deformácia otvoru. Ak má byť otvor presne umiestnený a kruhový, je nutné ho vyhotoviť až po ohybe.
- Dĺžka ohýbaného ramena musí byť minimálne dvojnásobok hrúbky ohýbaného materiálu (obrázok 23).
- Pri ohýbaní nesymetrických dielov hrozí posunutie materiálu, čo ovplyvní výslednú rozmerovú presnosť. Musí sa preto dbať na zvýšené nároky na správne upnutie ohýbaného materiálu. Ak to nie je možné, je nutné použiť vrúbkovaný povrch na pridržiavači alebo ohybníku, prípadne miesto ohybu zaistiť voči ohybníku kolíkom (vyžaduje technologický otvor v mieste ohybu).



Obr. 23 Minimálne vzdialenosti [28]

2.3 Nástroj [2]

Pri výrobe akejkoľvek súčasti sú používané rôzne prípravky a pomôcky k vykonaniu jednotlivých operácií ako sú napríklad strih, ohyb, ťahanie alebo pretláčanie. Tieto prípravky a pomôcky tvoriace funkčný celok sa nazývajú nástroj. Nástroje sú väčšinou vymeniteľné, aby bola možná ich údržba alebo výmena pri poškodení bez pozastavenia výroby celého stroja. Nástroje možno rozdeliť na univerzálne (ohýbadlá na ohraňovacom lise) a jednoúčelové (postupový nástroj na výrobu jedného druhu výrobku).

O využití správneho nástroja rozhoduje najmä sériovosť, výrobný čas a technologická náročnosť výroby daného dielu. Pri väčších sériách je ekonomicky výhodnejšia konštrukcia špecifického, jednoúčelového nástroja. Minimálna veľkosť série pri ktorej je výhodnejší návrh nástroja vychádza z ekonomického návrhu pri príprave výroby.

Nástroje musia spĺňať základné konštrukčné a technologické zásady ale často sú k ich návrhu nutné aj skúsenosti konštruktéra vytvoriť nástroj ekonomicky a funkčne. Z ekonomického hľadiska je snaha vytvárať postupové alebo združené nástroje, na ktoré sa vo výsledku použije menšie množstvo materiálu a je nutný menší počet operácií k jeho výrobe. Pri zložitejších tvaroch výrobku je niekedy nemožné, aby bol vyrábaný na jednom postupovom alebo združenom nástroji. V takých prípadoch sa predražuje nielen výroba nástroja ale aj samotného vyrábaného dielu, pretože sú nutné ďalšie výrobné operácie.

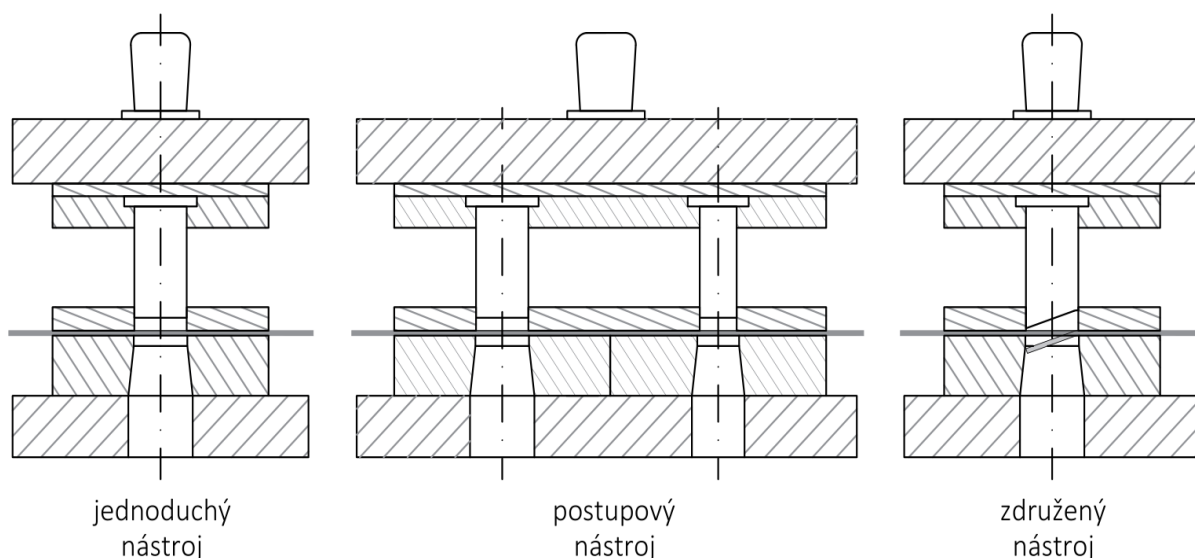
2.3.1 Strižný nástroj [1], [2], [16], [20], [21], [22], [29], [30], [31], [32], [33]

Technológia strihania využíva ako činné časti strihadlá. Strižník je pohyblivý a pri pracovnom zdvihu zachádza do statickej strižnice. K ich správnej činnosti je potreba aby boli

v stroji pevne upnuté, prípadne vedené a aby bol strihaný materiál správne polohovaný pri strihu. Ku tomu slúžia strižné nástroje, ktoré možno rozdeliť na:

- Jednoduché
Celý nástroj vykoná pri jednom zdvihu jednu operáciu.
- Postupové
Strihamý materiál postupuje cez nástroj po krokoch a pri každom zdvihu je vykonaných niekoľko operácií. Takéto nástroje sú najčastejšie, pretože majorita vyrábaných dielov nie je výrobná len jednou operáciou.
- Združené
Ide o využitie jedného nástroja ku vykonaniu niekoľkých operácií v jednom kroku. Najčastejšie spojenie strihu a ohybu.

Podľa toho, či je pohyblivá časť nástroja (upínacia hlavica) spojená vodiacimi kolíkmi s časťou statickou (strižná skriňa), ich delíme na strižné nástroje s vedením a bez vedenia.



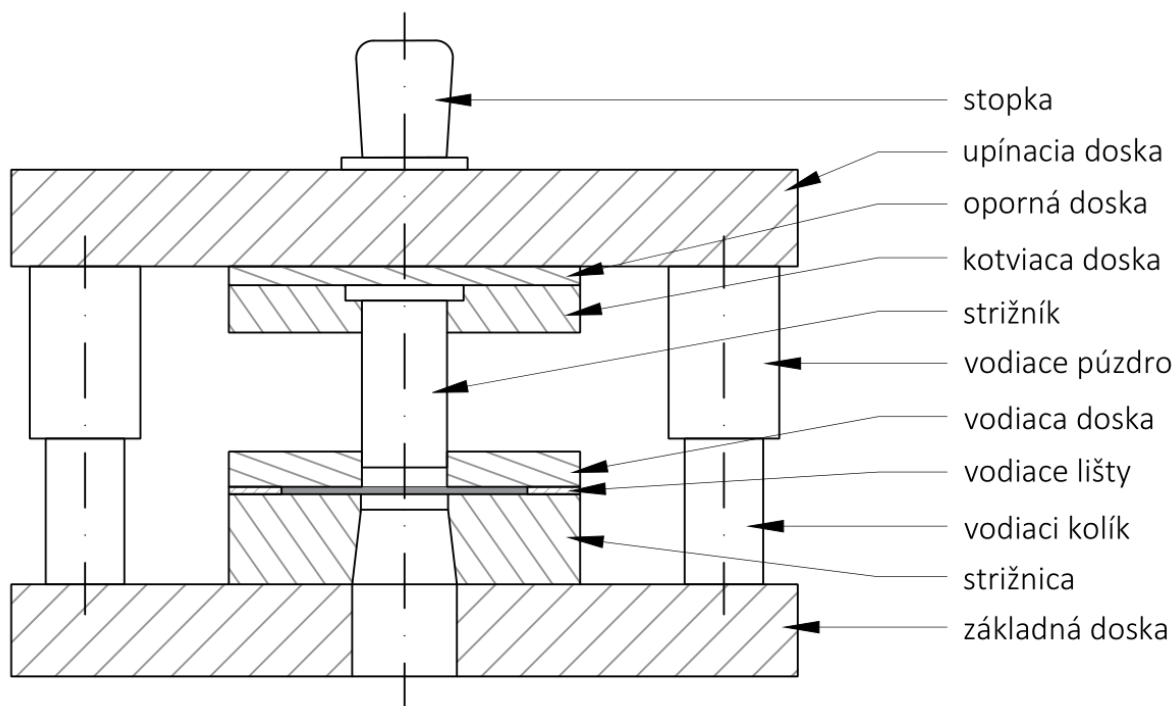
Obr. 24 Schéma fungovania rôznych druhov strižných nástrojov [30]

Pri jednoduchých strižných nástrojoch je správna poloha strihaného polotovaru zaistená dorazmi, kolíkmi alebo tvarovým vybraním v strižnici.

Pri postupových strižných nástrojoch je polotovarom najčastejšie zvitok plechu vhodnej šírky. Ten je cez nástroj vedeným vodiacimi lištami, ktoré zaisťujú správnu polohu polotovaru. Ku posunu polotovaru je potrebná obsluha stroja alebo automatizovaná odvíjačka, často obsahujúci zariadenie na rovinanie plechu pred vstupom do nástroja.

Pre dosiahnutie presnosti pri strihaní je dôležitý presný posun polotovaru v nástroji ku ďalšej operácii. Toho je docielené využitím dorazov alebo presných podávačiek. Pokiaľ je to možné a nutné, využíva sa pre presné ustavenie a pridržiavanie polotovaru pri strihu hľadákov.

Ak výstrižok neobsahuje otvor vhodný pre hľadák, je nutné zaradiť ďalší strih (otvor pre hľadák), čo nie je ekonomicky výhodné. Pokiaľ sa tento otvor nedá umiestniť na polotovar mimo plochy výstrižku, je nutné vytvoriť technologický otvor priamo na výstrižku. To často nie je možné, ak ide o pohľadovú plochu, alebo by otvor negatívne vplýval na funkčnosť alebo pevnosť výstrižku.



Obr. 25 Schéma strižného nástroja s vedením [31]

Jednotlivé časti strižného nástroja sú:

- Upínacia doska

Slúži ako hlavný upínací prvok upínacej hlavice. Pri použití stopky je cez ňu spojená s baranom stroju. Ak stopka nie je použitá, upína sa hlavica priamo cez upínaciu dosku. K upínacej doske je pripevnená kotviaca doska. Pre dodržanie vysokých nárokov na presnosť polohy upnutých nástrojov sa jednotlivé časti nástroja voči sebe upínajú za pomoci kombinácie presných kolíkov a skrutiek.

Na výrobu upínacej dosky sa bežne používajú konštrukčné oceli triedy 11 a to hlavne 11 500, 11 523 a 11 600, prípadne šedá liatina.

- Základná doska

Podobne ako upínacia doska slúži ako hlavný upínací prvok pre strižnú skriňu. Je ukotvená o pracovný stôl stroja a ku nej sú prichytené vodiace kolíky a strižnica. podľa konštrukcie stroja často základná doska obsahuje otvory na prepádávanie odpadu vznikajúceho pri strihaní, alebo hotových výstrižkov.

Ku výrobe základovej dosky sú používané rovnaké materiály ako na dosku upínaciu. Hrúbka týchto hlavných prvkov nástroja je zvolená s ohľadom na pomer pevnosti a ekonomickosti výroby strižného nástroja.

- Oporná doska

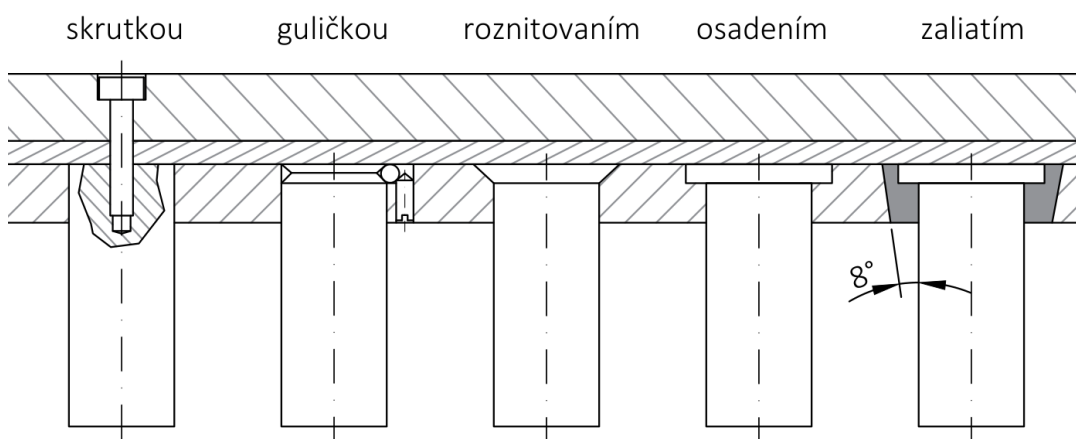
Ide o podložku pod strižníky v pohyblivej časti nástroja a prenáša strižné sily od strižníkov na väčšiu plochu do upínacej dosky. Je od nej vyžadovaná väčšia tvrdosť, aby odolávala otláčaniu od strižníkov. Pri použití vložkovaných strižníc je nutné použiť opornú dosku aj v statickej časti nástroja pod strižnicou.

Na oporné dosky sa používajú materiály väčších pevností, vhodné ku tepelnému spracovaniu. Najčastejšie ide o oceli triedy 12 a to konkrétne 12 060, 12 061 a 14 220 následne zakalené na vysokú tvrdosť.

- **Kotviaca doska**

Je podstatným prvkom nástroja, ktorý určuje presnú polohu strižníkov a presne ich ukotví k upínacej doske. Slúži aj k zmenšeniu voľnej dĺžky strižníka a znižuje tak riziko vzperu alebo ohybu strižníka.

Kotviace dosky sú často pre ich veľké rozmery vyrábané z bežných konštrukčných ocelí triedy 11 a to konkrétne 11 500 alebo 11 523 podobne ako na upínaciu a základovú dosku. Pri menších nástrojoch a väčších silových pomeroch pri strihaní je prijateľné aj použitie ocelí vyšších tried.



Obr. 26 Schéma rôznych druhov upínania strižníkov o kotviacu dosku [31]

- **Vodiaca doska**

Jej funkciou je vedenie strižníkov v blízkosti strihaného materiálu, čo zvyšuje presnosť strihu a zároveň značne znižuje riziko vzperu strižníka. Pri spätnom pohybe strižníka zároveň slúži ako stierač a pridrží strihaný materiál v správnej polohe.

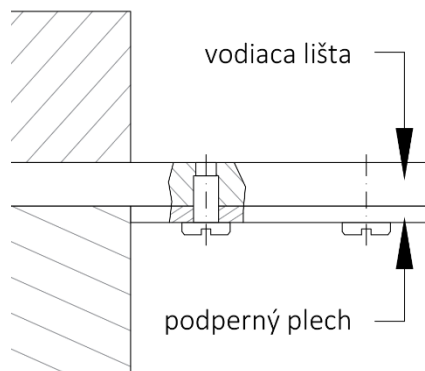
Ako materiál k výrobe kotviacej dosky sa pre časté namáhanie oterom používa nástrojová oceľ. Pri väčších nástrojoch sa z ekonomického hľadiska využíva vložkovanie a samotná vodiaca doska sa vyrába z konštrukčných ocelí. Vložky, vyrábané z nástrojových ocelí a do vodiacej dosky zalisované.

- **Vodiace lišty**

Zaisťujú správnu polohu pásu strihaného materiálu pri posúvaní cez nástroj. Pri väčších nástrojoch sú lišty často zložené z niekoľkých kratších dielov, ktorých výroba je ekonomickejšia a prípadná údržba alebo výmena jednoduchšia.

Na strane vstupu materiálu do nástroja pri postupových nástrojoch je výhodné ak lišty vyčnievajú a s použitím podperného plechu umožnia jednoduchšie zavedenie materiálu do nástroja.

K ich výrobe sa používajú zušľachtiteľné konštrukčné oceli, podobne ako pri oporných doskách. Z dôvodu namáhania lišt oterom

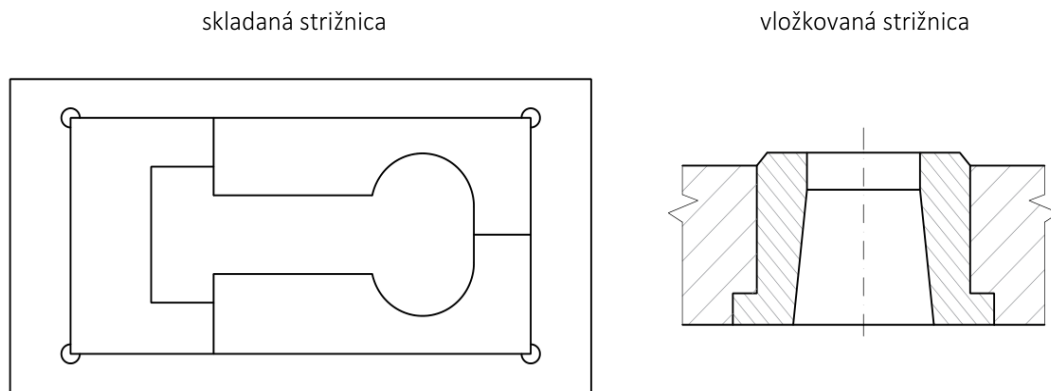


Obr. 27 Schéma uchytenia podperného plechu k vodiacej lište

často drsnou hranou posúvaného materiálu sa zvyšuje ich odolnosť a tak aj životnosť kalením na vysokú tvrdosť.

- Strižnica

Je dôležitý činný komponent strižného nástroja. Tvorí statickú časť strižných nožov a je ukotvená ku základnej doske pomocou skrutiek a presných kolíkov. Patrí medzi najnákladnejšie časti strižného nástroja. Z potreby usporiť materiál a zjednodušiť výrobu strižníc existujú rôzne varianty konštrukcie:

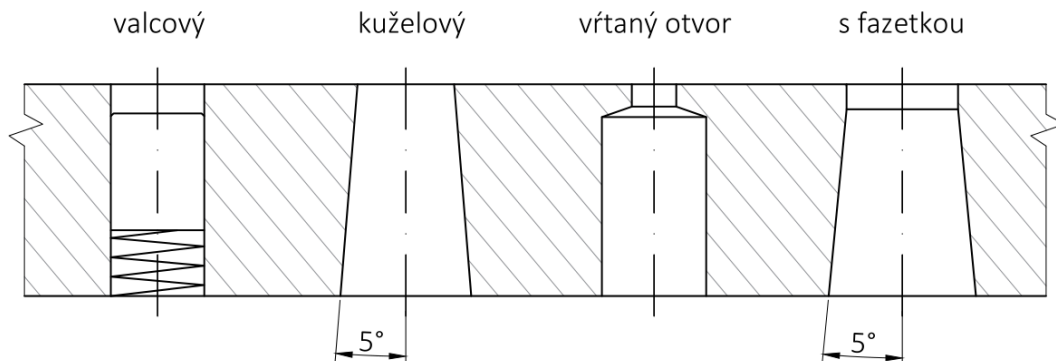


Obr. 28 Schéma skladanej a vložkovanej strižnice [31]

Celistvá strižnica sa využíva najmä pri strihaní malých a jednoduchých výstrižkov. Vyrábajú sa celé z nástrojových ocelí a pri väčších rozmeroch hrozí pri tepelnom spracovaní deformácia tvaru strižnej hrany.

Skladaná strižnica zjednodušuje výrobu pri nutnosti strihania zložitejších tvarov. Strižnica sa rozdelí na niekoľko častí, ktoré sú zalisované alebo priskrutkované do objímky. Hlavnou výhodou je zníženie výrobných nákladov a deformácií pri kalení ako aj jednoduchšia vymeniteľnosť v prípade poškodenia strižnej hrany.

Vložková strižnica umožňuje najväčšiu úsporu drahších materiálov a je často využívaná pri konštrukcii postupových nástrojov väčších rozmerov. Zo zakalených nástrojových ocelí, alebo často zo slinutých karbidov, sú vyrobené iba strižné vložky, ktoré sú zalisované alebo inak upnuté do samotnej strižnice. Spôsob upnutia je volený v závislosti od frekvencie prebrusovania alebo výmeny vložky. Strižné vložky sa konštruujú tak, aby po zalisovaní vyčnievali nad povrch strižnice (obrázok 28) a mohli byť prebrusované v prípade ich otupenia. Bežne vyčnievajú o 3÷5 mm a úber pri prebrusovaní je závislý od miery poškodenia strižnej hrany.



Obr. 29 Schéma rôznych prevedení strižných otvorov [32]

Dôležitým konštrukčným riešením strižnice je tvar strižného otvoru a strižnej hrany (obrázok 29). Pre strihanie s vyhadzovačom je tvar strižnice valcový, aby zaistoval smer chodu vyhadzovača. Pri strihaní menších otvorov a malých sérií kde nie je potreba prebrusovať strižnú hranu strižnice má strižnica tvar kužeľový. Pri malých kruhových otvoroch a stredných až väčších sériách je odporúčaný tvar valcový s predvrtaným otvorom. Najpoužívanější tvar je kužeľový s fazetkou, ktorý umožňuje spoľahlivé vypadávanie výstrižku alebo odpadu a je možné ho prebrúsiť pri zachovaní funkčného rozmeru strižnice.

Hrúbka strižnice by mala byť z dôvodu zaťaženia na ohyb väčšia ako 15 mm. Pre zníženie maximálnej strižnej sily sa často strižné nástroje úkosujú. Dochádza tak k strihu na dlhšej dráhe nástroja. Častejšie sa však úkosujú strižníky ako strižnice, pre jednoduchšiu výrobu.

Tab. 6 Prehľad najpoužívanějších nástrojových ocelí a ich využitie [33].

Značka oceli	Využitie
19191, 19 221	Menšie namáhanie
19312, 19 313	Tvarovo zložené strižné obvody, väčšie hrúbky materiálu
19 314	Tvarovo zložené strižné obvody, väčšie hrúbky a pevnosti materiálu
19436, 19 437	Tvarovo zložené strižné obvody a väčšie namáhanie
19 550	Práca za studena aj za tepla
19 559	Práca za studena aj za tepla s vysokou húževnatosťou
19 569	Práca za studena aj za tepla s vysokou húževnatosťou a väčšie namáhanie
19 665	Práca za studena aj za tepla s odolnosťou proti teplotnej únave
19 820	Najväčšie namáhanie

Strižnice, jej časti alebo vložky sa najčastejšie vyrábajú z nástrojových ocelí. Využitie jednotlivých druhov nástrojových ocelí je uvedené v tabuľke 6. Pri strihaní veľmi pevných materiálov alebo pre predĺženie životnosti strihadiel sa využívajú slinuté karbidy. Funkčné časti strižníc sa kalia na vysokú tvrdosť.

Pre dodržanie rozmerov strihanej súčasti je podstatné správne určiť rozmery strihadiel. Pri operácií vystrihovania (vonkajší obrys strihanej súčasti) je smerodajný rozmer strižnice a rozmer strižníku sa zmenší o strižnú vôľu. Pri dierovaní (strihanie otvorov priamo na ploche strihaného dielu) je tomu naopak. Pre správne stanovenie presného rozmeru strižnice postupujeme podľa nasledujúcich vzťahov:

Vystrihovanie:

$$D_e = D - \Delta + \delta_e \quad (2.22)$$

kde: D_e – rozmer strižnice [mm]

D – menovitý rozmer [mm]

Δ – tolerancia menovitého rozmeru [mm]

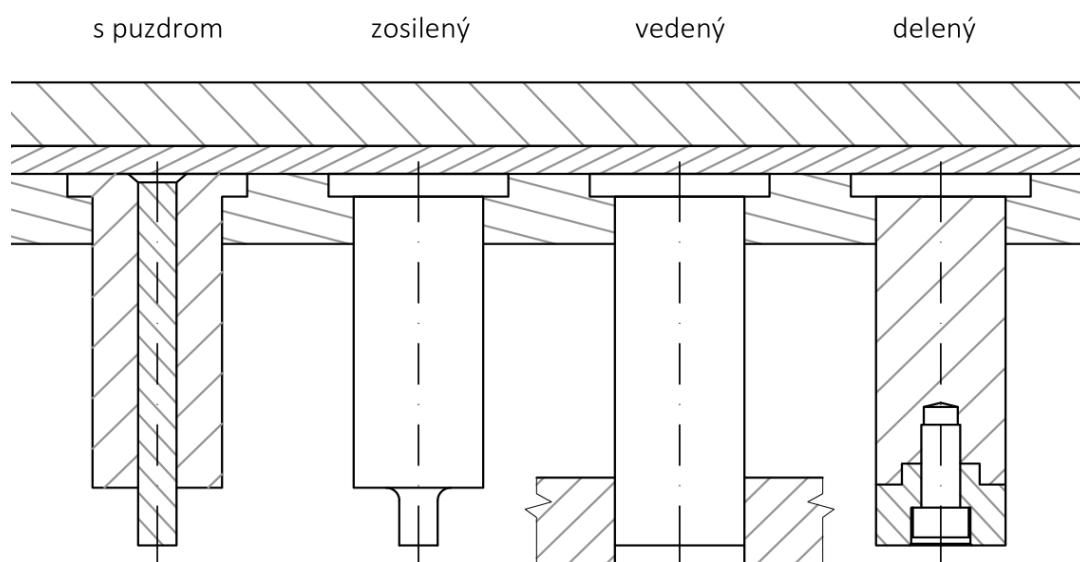
δ_e – výrobná tolerancia strižnice [mm]

Dierovanie:

$$D_e = D + \Delta + \delta_e + v_s \quad (2.23)$$

- Strižník

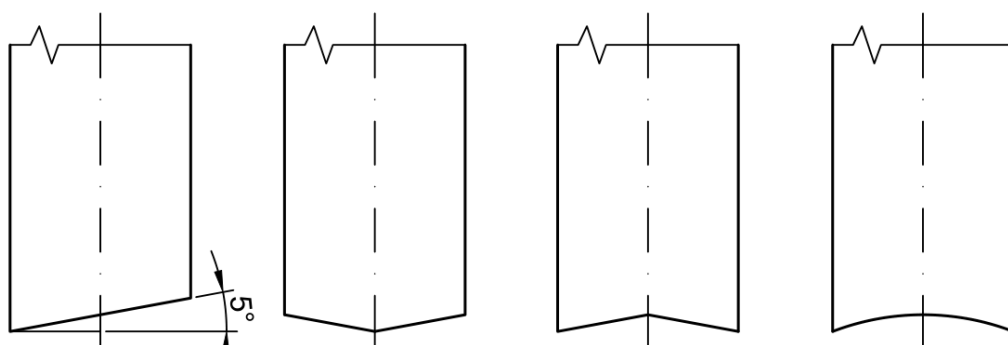
Dôležitá činná časť nástroja. Ide o pohyblivú časť strižných nožov a je ukotvený ku upínacej doske cez kotviacu dosku a podložený doskou opornou. Rôzne spôsoby ukotvenia sú znázornené na obrázku 26. Pri menších rozmeroch strižníka sa často využíva vyžihanie a roznitovanie strižníka v kotviacej doske. Ak sa bude strižník často meniť alebo prebrusovať, volí sa uchytenie pomocou guličky a naopak ak sa nepočíta s manipuláciou so strižníkom, volí sa zaliatie strižníka do kotviacej dosky pomocou živice. Bežným spôsobom upínania je pomocou osadenia a skrutkou.



Obr. 30 Schematické zobrazenie rôznych konštrukčných riešení strižníkov [31]

Pri konštrukcii strižníku sú dôležité parametre jeho dierovací pomer a pomer jeho dĺžky ku priemeru. Dierovací pomer je pomer hrúbky strihaného materiálu a priemeru strihaného otvoru (s/d_s).

Podľa spôsobu vedenia strižníku ich možno rozdeliť na strižníky vedené a nevedené. Vedené strižníky sú v správnej polohe udržiavané pomocou vodiacej lišty alebo pomocou puzdra (pri malých priemeroch strižníkov). Štíhle strižníky je možné zosilniť, čo zabráni ich vyoseniu alebo vzperu. Strižníky veľkých rozmerov sú z ekonomického hľadiska často konštruované ako delené. Funkčná časť je vyrobená z nástrojovej ocele alebo slinutých karbidov a je osadená do stopky z konštrukčnej ocele. Presná poloha je zaistená osadením a funkčná časť je zaistená skrutkou.



Obr. 31 Schematické zobrazenie rôznych možností úkosovania čiel strižníkov [9]

K zníženiu maximálnej strižnej sily sa často využíva úkosovanie čela strižníku alebo rôzne dĺžky jednotlivých strižníkov. Nevýhodou úkosovania strižného čela je vznik iných ako axiálnych síl (väčšie riziko ohnutia strižníku) a ohýbanie strihaného materiálu. Odstupňovanie dĺžok strižníkov je výhodné, pokiaľ je strihané veľké množstvo otvorov naraz a nástroj musí na túto úpravu mať dostatočný zdvih.

Pre konštrukčný návrh strižníkov je nutné previesť niekoľko základných kontrolných výpočtov. Podstatná je pri nich veľkosť jednotlivých strižných síl. Pri výpočte strižníkov na vzper je kontrolovaná voľná dĺžka strižníku. K porovnaniu voľnej dĺžky sa počíta kritická dĺžka, ktorá musí byť vždy väčšia.

Pre nevedené strižníky sa vypočíta podľa vzťahu:

$$l_{\text{krit}} = \sqrt{\frac{2 \cdot \pi^2 \cdot E \cdot I}{k_{\text{vzp}} \cdot F_s}} \quad (2.24)$$

kde: l_{krit} – kritická dĺžka strižníku [mm]

I – moment zotrvačnosti prierezu strižníku (príloha 1) [mm⁴]

k_{vzp} – koeficient bezpečnosti pre vzper (bežne $k_{\text{vzp}}=1,5 \div 2$) [-]

Pre výpočet kritickej dĺžky vedeného strižníku sa používa vzťah:

$$l_{\text{krit}} = \sqrt{\frac{4 \cdot \pi^2 \cdot E \cdot I}{k_{\text{vzp}} \cdot F_s}} \quad (2.25)$$

Výpočet styčného tlaku strižníka a opernej dosky je dôležitý k zabráneniu otláčenia strižníku do opernej dosky. Ako maximálny dovolený tlak pre nekalenú opornú dosku je 180 MPa. Pokiaľ je styčný tlak väčší, treba opernú dosku zakaliť na väčšiu tvrdosť. Pre výpočet tlaku platí:

$$\sigma_{\text{otl}} = \frac{F_s}{S_{\text{dp}}} \quad (2.26)$$

kde: σ_{otl} – tlak otláčenia [MPa]

S_{dp} – plocha dosadacej plochy [mm²]

Ku výrobe strižníkov sa používa rovnaký materiál ako ku výrobe strižníc. Pre prebrusovanie strižných čiel ja najvýhodnejší strižník bez úkosu, alebo z úkosom jednoduchým.

Pre výpočet presných rozmerov strižníka postupujeme obdobne ako pri výpočte presných rozmerov strižnice, a to:

Vystrihovanie:

$$D_k = D - \Delta - \delta_k - v_s \quad (2.27)$$

kde: D_k – rozmer strižníku [mm]

δ_k – výrobná tolerancia strižníku [mm]

Dierovanie:

$$D_k = D + \Delta - \delta_k \quad (2.28)$$

- Stopka

Pri upínaní upínacej hlavice sa volí spôsob upnutia pomocou stopky alebo priamo upínacou doskou. Upínanie pomocou stopky je vhodnejšie pre menšie nástroje.

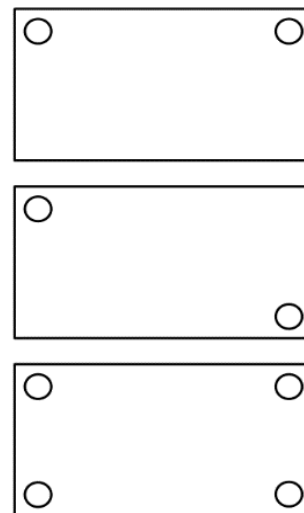
Rozmery stopky podliehajú norme a sú volené podľa konkrétneho stroja. Stopky sa rozdeľujú na kužeľové a valcové. Vyrábané sú z konštrukčnej oceli 11 600.

- Vodiace elementy

Pri požiadavke na väčšiu presnosť strihania a na obmedzenie rizika kolízie pohyblivých častí nástroja so statickými, sú tieto časti prepojené vodiacimi elementami. Ide o vodiace kolíky a vodiace puzdra.

Existuje niekoľko prístupov ku rozmiestneniu vodiacich elementov v nástroji a je na konštruktérovi nástroja, aké usporiadanie je najvýhodnejšie pre daný nástroj. Príklad bežných usporiadaní je uvedený na obrázku 32.

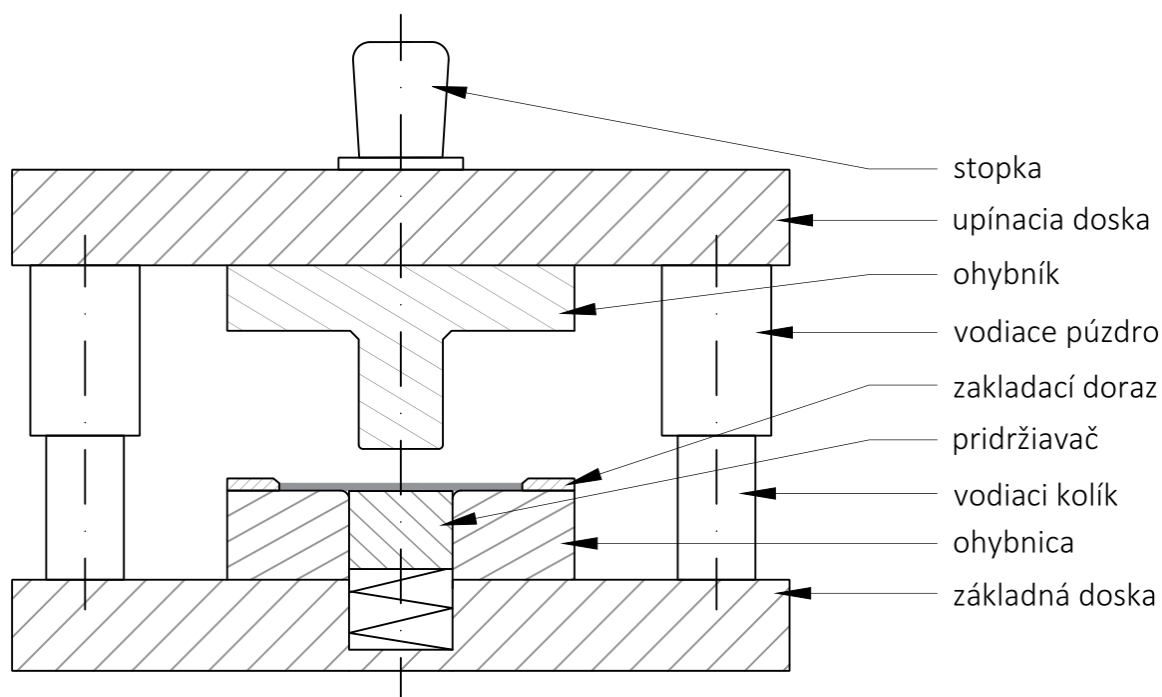
Vodiace puzdrá a kolíky sú univerzálne a bežne sa nakupujú od externých dodávateľov. Vyrábajú sa v rôznych priemeroch a dĺžkach. Veľkosť vodiacich elementov musí zodpovedať silovému zaťaženiu v nástroji a jeho celkovej veľkosti.



Obr. 32 Usporiadanie vodiacich elementov

2.3.2 Ohýbací nástroj [1], [2], [23], [24], [27], [28], [29], [31]

Technológia ohybu v ohýbacom nástroji využíva ako činné časti nástroja ohýbadlá. Pohyblivou časťou ohýbadiel je ohybník. Pri vykonaní zdvihu nástroja je ohybník vtlačaný do ohybnice, čo je statická časť ohýbadiel. Pre správnu činnosť ohýbacieho nástroja je nutné, aby počas celého zdvihu nástroja boli ohýbadlá vzájomne v správnej polohe a aby bol dodržaný presný zdvih nástroja. Tým sa zabráni kolízií a poškodení ohýbadiel, a prípadnému posunu ohýbaného polotovaru. Preto sú ohýbadlá umiestnené v ohýbacom nástroji, ktorý slúži na ich uchytenie ku stroju a správne vedenie.



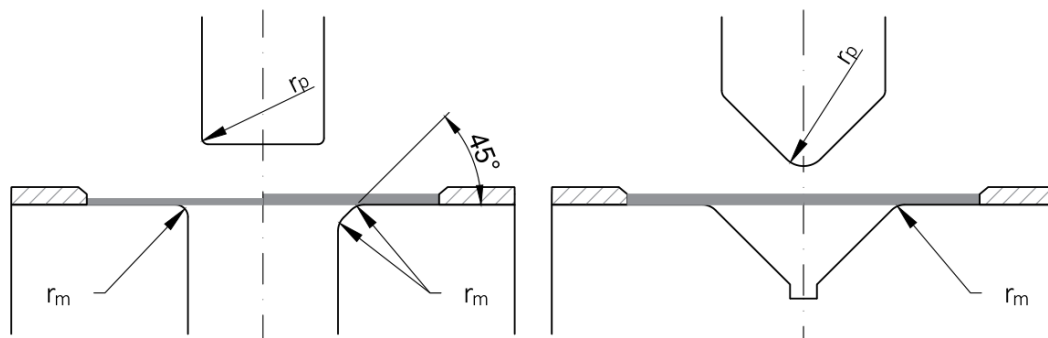
Obr. 33 Schéma ohýbacieho nástroja do tvaru U s vedením [27]

Ohýbacie nástroje možno rozdeliť podľa tvaru ohybu na nástroje pre ohyb do tvaru V a nástroje pre ohyb do tvaru U, prípadne podľa použitia vodiacich elementov na ohýbacie nástroje s vedením a bez vedenia. Pri konštrukcii jednoduchých ohýbacích nástrojov s menšími nárokmi na presnosť sa nevyužíva vodiacich elementov pre ušetrenie nákladov na výrobu nástroja.

Konštrukcia ohýbacích nástrojov je podobná nástrojom strižných. Medzi základné časti ohýbacích nástrojov patrí:

- Ohybnica

Ide o spodnú ohýbaciú statickú čeľusť. Pre svoju veľkosť, nároky na pevnosť a veľmi malú drsnosť ohýbacích hrán je to najdrahšia časť ohýbacieho nástroja.



Obr. 34 Polomery zaoblenia hrán ohýbadiel [28]

Voľba geometrie ohýbacích hrán je závislá od hrúbky ohýbaného materiálu (obrázok 34). Polomer zaoblenia hrán ohybnice ovplyvňuje celkovú ohýbaciú silu a akosť povrchu ohýbaného dielu. Pri voľbe menšieho rádiusu sila narastá. Pri hrúbke $s \geq 3 \text{ mm}$ by sa ohýbacia hrana mala zraziť pod uhlom 45° a jej prechody zaobliť na polomer:

$$r_m = 2 \div 6 \cdot s \quad (2.29)$$

kde: r_m – polomer zaoblenia hrany ohybnice [mm]

Ohybnice väčších rozmerov sa často vložkujú. Vložky sú vyrábané z nástrojových ocelí alebo slinutých karbidov. Samotná ohybnica podľa zaťaženia pri ohýbaní z konštrukčnej oceli 11 523 alebo z nástrojových ocelí 19 191 alebo 19 312.

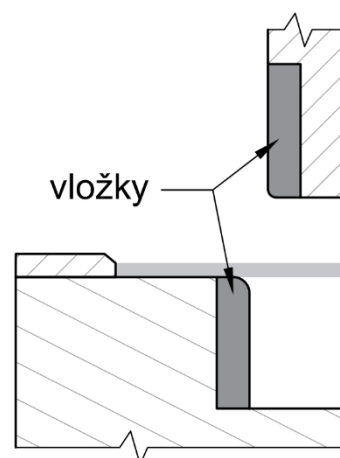
- Ohybník

Pohyblivá horná časť ohýbadiel. Najnamáhanejšia časť ohybníku, jeho ohýbacia hrana, sa kalí na vysokú pevnosť a pri stredných a väčších sériách leští. Jej polomer zaoblenia je daný rovnicou:

$$r_p = R_o \quad (2.30)$$

kde: r_p – polomer zaoblenia hrany ohybníku [mm]

Pri zvýšených nárokoch na presnosť polomeru aj po odpružení je volený menší polomer zaoblenia hrany ohybníku.



Obr. 35 Príklad vložkovaných ohýbadiel [28]

Ohybníky sa vyrábajú z nástrojových ocelí, obdobne ako ohybnice, alebo sa opatrujú vložkami zo slinutých karbidov.

- Pridržiavač

Pri ohyboch nesymetrických, s krátkym ramenom alebo pre lepšiu kontrolu kalibrácie sa používajú pridržiavače. Tie na základe trecích síl bránia materiálu v posunutí a zlepšujú tak výslednú kvalitu ohybu. Pridržiavače pritláčajú ohýbaný materiál o ohybník alebo o ohybnicu. Často sa využíva pridržiavač aj na účely vyhadzovania.

K výrobe pridržiavačov sa používajú najmä nástrojové ocele ako napríklad 19 191 a 19 436.

Pre konštrukciu ohýbadiel je podstatná vôľa medzi ohybníkom a ohybnicou. Pri jej nedodržaní hrozí poškodenie nástrojov, prípadne stroja (utrnutie poistiek). Vôľa je závislá od tvaru ohybu:

Ohyb do tvaru V:

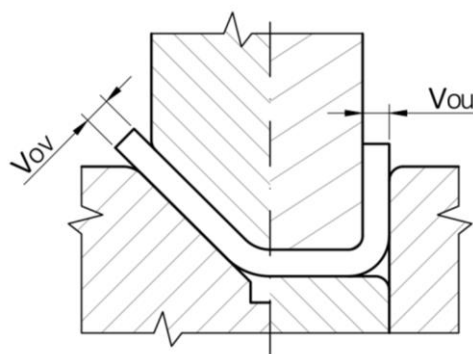
$$m_{ov} = s \quad (2.31)$$

kde: m_{ov} – vôľa ohýbadiel [mm]

Ohyb do tvaru U:

$$m_{ou} = (1,05 \div 1,15) \cdot s \quad (2.32)$$

kde: m_{ou} – vôľa ohýbadiel [mm]



Obr. 36 Vôľa pri ohýbaní [23]

2.4 Tvárniace stroje [24], [27], [28], [29], [31], [34], [35]

Ku vykonaniu tvárniacich operácií je nutný nie len správny nástroj ale aj stroj ktorý tvorí hlavný zdroj sily a umožňuje pohyb nástroja. Pre technológie strihania a ohybu sa kladú požiadavky na celkovú silu, dráhu, využiteľnú silu v danej polohe nástroja, počet zdvihov za minútu, veľkosť upínacej plochy a rozmery prepádov na odpad a hotové výlisky.

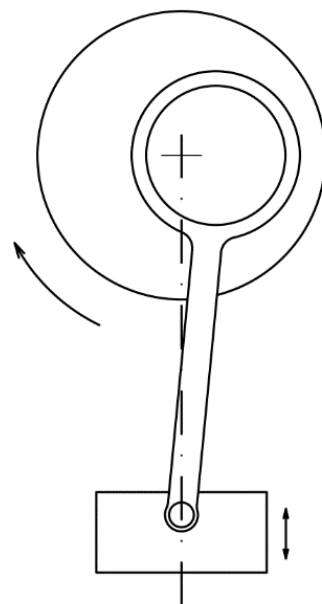
Ako najvýhodnejšie tvárniace stroje sú lisy. Zjednodušene je lis stroj pôsobiaci kľudnou silou na použiteľnom zdvihu. Svojimi parametrami sa ukazujú ako najideálnejšie druhy lisov mechanické a hydraulické.

- Mechanické lisy

Patria medzi najrozšírenejšie tvárniace stroje. Rotačný pohyb od motorom roztáčaného zotrvačníku je cez kľukový mechanizmus s ojnicou prevedený na pohyb priamočiary, pohybujúci s baranom stroja.

Mechanické lisy sú dostupné v širokom spektre veľkostí, menovitých síl a konštrukcií. Existuje veľké množstvo špecializovaných strojov, určených svojou koncepciou a vybavením na konkrétny druh výroby.

Hlavnými výhodami kľukových lisov je jednoduchosť konštrukcie, veľký zdvih barana a vysoká produktivita.



Obr. 37 Princíp funkcie kľukového mechanizmu [34]

Ako najväčšia nevýhoda je nerovnomerné rozloženie tvárniacej sily (maximálna sila až tesne pri dolnej úvrati) a pevne daný pracovný zdvih barana. Od lisov kľukových sú odvodené principiálne podobné výstredníkové lisy, ktoré riešia problém s nastavovaním pracovného zdvihu.

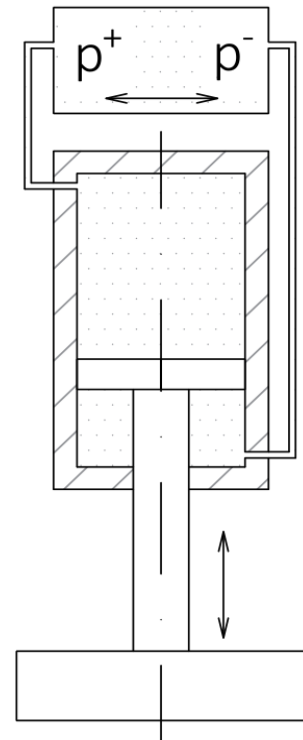
- **Hydraulické lisy**

K prenosu sily sa pri hydraulických lisoch využíva princíp rovnomerného šírenia tlaku v kvapaline. Ako kvapalina na prenos tlaku sa najčastejšie používa hydraulický olej alebo zmes oleja a vody. Pohony hydraulických lisov sa rozdeľujú na priame a nepriame. V priamych je hydraulický tlak vytváraný v čerpadle (kompresor), ktoré je prepojené s pracovným piestom. V nepriamych je tlakové médium (vzduch) od pohonu prepojené s činným okruhom stroja pomocou membrány v akumulátore.

Hydraulické lisy sú pre účely tvárnenia výhodné svojím konštantným pôsobením a reguláciou tlaku na celom zdvihu, jednoduchým nastavením požadovaného zdvihu a rýchlosti v celom pracovnom rozsahu stroja, veľkou maximálnou silou pri menších rozmeroch stroja a možnosti zastaviť stroj takmer okamžite. Možnosť núdzového zastavenia môže pri správnej detekcii krízových situácií pri tvárnení zabrániť poškodeniu alebo úplnému zničeniu nástroja a ušetriť tak veľké náklady na opravu.

Hlavnými nevýhodami sú menšie rýchlosti pohybu barana, zložitosť hydraulického systému, menšia účinnosť a vyššia cena.

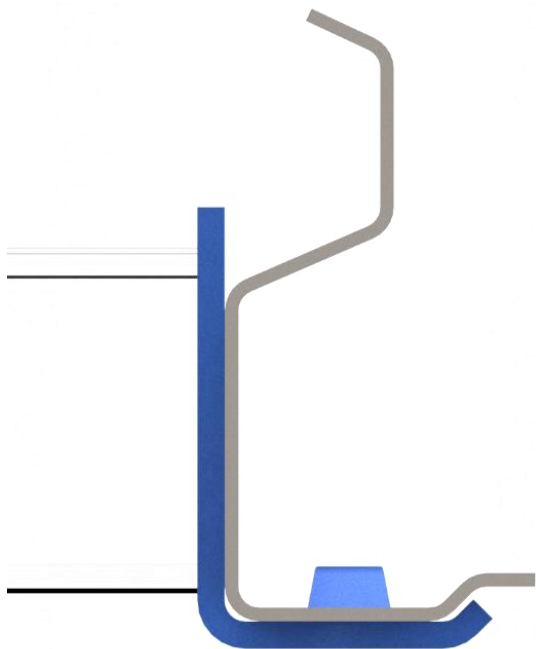
Hydraulické lisy, aj vďaka vývoji technológií, postupne nahrádzajú mechanické lisy vo veľa oblastiach tvárnenia. Najmä pokiaľ je stroj súčasťou automatizovanej linky, kde je možnosť jednoduchšej regulácie a kontroly tvárniacich parametrov prínosná pre riadenie a kontrolu celej výroby.



Obr. 38 Princíp funkcie hydraulického lisu [35]

3 NÁVRH

Regálová lišta je súčasťou zvarenca regálovej priečky. Slúži na uchytenie priečky vo vhodnej výške o vertikálne nosníky skladových regálov. Ako polotovár na výrobu súčasti je plech z materiálu S355MC o hrúbke 4 mm. Sériovosť výroby je predpokladaná 400 000 kusov ročne.



Obr. 40 Tvar ohybov vyrábaného dielu uchyteného o nosník regálu



Obr. 39 Vyrábaná súčasť: regálová lišta

K výrobe súčasti boli zvolené technológie strihania a ohýbania v nástroji. K správne mu návrhu nástroja po stránke technologickej, konštrukčnej a ekonomickej je potrebné množstvo výpočtov, konštrukčných a technologických rozhodnutí.

3.1 Technologickosť vyrábaného dielu

Pre posúdenie vyrobiteľnosti súčasti technológiami strihu a ohybu je nutné zhodnotiť vyrábanú súčasť z hľadiska splnenia základných technologických zásad daných technológii uvedených v kapitolách 2.1.3 a 2.2.5.

Strihanie:

- Pre hrúbku materiálu $s=4$ mm sú hodnoty minimálnej vzdialenosti otvorov $a \geq 3,2$ mm, $b \geq 4$ mm a $c \geq 6$ mm (obrázok 13). Vyrábaná súčasť spĺňa tieto podmienky.
- Na vyrábanej súčasti nie sú predpísané žiadne geometrické tolerancie ani zvýšené nároky na drsnosť povrchu.
- Predpísané rozmerové tolerancie sú dosiahnuteľné technológiou bežného strihania.
- Obvod vyrábanej súčasti obsahuje ostré hrany. Tie však nie sú funkčné a úprava tvaru (zaoblenie alebo zrazenie hrán) je na dohode technológa a konštruktéra.
- Strihané otvory majú z ekonomického hľadiska výroby strižníkov vhodný, kruhový tvar, tam kde je to možné.
- Tvar výstrižku je z ekonomického hľadiska využitia materiálu ideálny. Možnosť využitia symetrie vyrábaných súčastí.
- Materiál je vhodný ku výrobe súčasti technológiami plošného tvárnenia za studena.

- Priemery strihaných otvorov sú väčšie ako minimálne doporučené (tabuľka 3)

Ohýbanie:

- Polomer ohybu súčasti je z hľadiska eliminácie odpruženia zvolený vhodne.
- Na uhly ohybu vyrábanej súčasti nie sú kladené zvýšené nároky na presnosť.
- Strihané otvory sa nachádzajú vo vhodnej vzdialenosti od ohybu a tak by ku deformácií ich tvaru nemalo dôjsť.
- Minimálna dĺžka ohýbaného ramena pri jednom z ohybov nie je dodržaná. Z hľadiska funkcie však tento ohyb nie je podstatný a pri veľkom uhle ohybu by nemal predstavovať z technologického hľadiska problém. V takýchto prípadoch sa odporúča skrátiť interval kontroly funkčných povrchov ohybníku a ohybnice.
- Vplyv orientácie osy ohybu voči vláknam materiálu a nesymetrickosť ohybu bude posúdená pri voľbe nástrihového plánu.

Pre posúdenie technologickosti výroby súčasti ohýbaním je dôležité vypočítať minimálny a minimálny polomer ohybu. Pri určení koeficientov je volený konzervatívny prístup.

Minimálny polomer ohybu (vzťah 2.20):

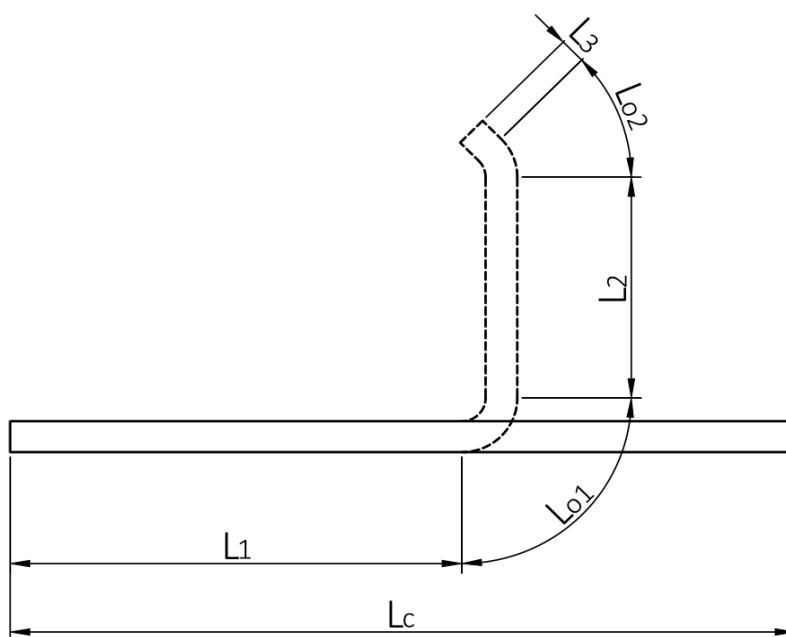
$$R_{o \min} = \frac{s}{2} \cdot \left(\frac{1}{\varepsilon_{t \max}} - 1 \right) \approx c \cdot s = 0,6 \cdot 4 = 2,4 \text{ mm}$$

Maximálny polomer ohybu (vzťah 2.21):

$$R_{o \max} = \frac{s}{2} \cdot \left(\frac{E}{R_e} - 1 \right) = \frac{4}{2} \cdot \left(\frac{2,1 \cdot 10^3}{355} - 1 \right) = 1181,1 \text{ mm}$$

Predpísaný polomer ohybu sa nachádza v intervale odporúčaných polomerov a mal by tak byť z technologického hľadiska uskutočniteľný bez problémov. V prípade komplikácií pri výrobe je možné polomer ohybu zväčšiť maximálne o 1 mm (obrázok 39).

Pri ohýbaní dochádza k plastickému pretvoreniu materiálu a je preto nutné spočítať dĺžku rozvinutého tvaru.



Obr. 41 Schéma vyrábanej súčasti pred a po ohybe

Polomer neutrálnej osy (vzťah 2.16):

$$\rho = R_o + x \cdot s = 3 + 0,4 \cdot 4 = 4,6 \text{ mm}$$

Podľa tabuľky 5 volím $x=0,4$.

Uhol ohnutého úseku (vzťah 2.17):

$$\varphi_1 = 180^\circ - \alpha = 180^\circ - 90^\circ = 90^\circ$$

$$\varphi_2 = 180^\circ - \alpha = 180^\circ - 135^\circ = 45^\circ$$

Dĺžka neutrálnej osy (vzťah 2.18):

$$L_{o1} = \frac{\pi \cdot \varphi_1 \cdot \rho}{180} = \frac{\pi \cdot 90 \cdot 4,6}{180} = 7,23 \text{ mm}$$

$$L_{o2} = \frac{\pi \cdot \varphi_2 \cdot \rho}{180} = \frac{\pi \cdot 45 \cdot 4,6}{180} = 3,61 \text{ mm}$$

Dĺžka rozvinutého tvaru (vzťah 2.19):

$$L_c = L_1 + L_{o1} + L_2 + L_{o2} + L_3 = 57 + 7,23 + 28,55 + 3,61 + 3,3 = 99,69 \text{ mm}$$

3.2 Varianty výrobného postupu

Hlavným parametrom je využitie materiálu a teda minimalizácia odpadu vznikajúceho pri strihaní. Odpad je možné rozdeliť na konštrukčný a technologický. Konštrukčný vychádza z tvaru vyrábanej súčasti. Technologický odpad je závislý od rozmiestnenia výstrižku na ploche vstupného materiálu. K vhodnému umiestneniu súčasti na plochu materiálu je zásadná znalosť použitých technológií a skúsený prístup technológa.

Pri združených postupových nástrojoch je pri voľbe nástrihového plánu nutné zohľadniť aj ohýbacie operácie v nástroji. Pre obdĺžnikové tvary výstrižkov existujú dva základné prístupy, a to priečne a pozdĺžne umiestnenie voči smeru pohybu materiálu. Pre vybranú technológiu strihu a ohybu v nástroji je možné rozdeliť možnosti výroby podľa počtu potrebných nástrojov:

- Strih a ohyb v samostatných nástrojoch

Deľbou výroby súčasti na niekoľko nástrojov sa dá doceliť nižšia celková výrobná cena nástrojov (menšie rozmery, jednoduchšia koncepcia). Pri výrobe na samostatných nástrojoch dochádza ku zníženiu taktu výroby, čo je pri veľkých sériovostiach neprípustné. Pre zvýšenie taktu je možné výrobu robotizovať alebo použiť transferový lis, to však vedie k navýšeniu nákladov.

- Strih a ohyb v postupovom združenom nástroji

So zvyšujúcou sa sériovosťou výroby sa zmenšuje podiel ceny nástroja na celkovej cene výrobku a zároveň je nutné vyrábať vo vyššom takte. K tomu je nutné buď znížiť výrobný čas alebo vyrábať paralelne na viacerých pracoviskách. Postupové nástroje sa v takýchto prípadoch ukazujú, aj napriek vyššej výrobnej cene nástroja, ako najvýhodnejšie. Pri správnej konštrukcii a nastavení nástroja sú schopné celý výrobný postup vykonať počas niekoľkých zdvihov, kontinuálne pri vysokom takte výroby. Ako vstupný materiál sa pre obmedzenie výrobných prestojov pri zavádzaní nového vstupného materiálu používa najčastejšie zvitok požadovanej šírky. Ten musí byť pred samotným vstupom do nástroja odvíjaný a rovnaný. Často sa pre zjednodušenie nástroja využíva miesto dorazov automatických presných podávačiek.

Pre výrobu regálovej lišty je pre vysokú sériovosť zvolený variant výroby v postupovom združenom nástroji. Polotovár k výrobe súčasti je z ekonomického a výrobného hľadiska dodávaný v zvitku presnej šírky. K odvíjaniu bude použitá automatická odvíjačka s rovnacou linkou a k posunu presná podávačka.

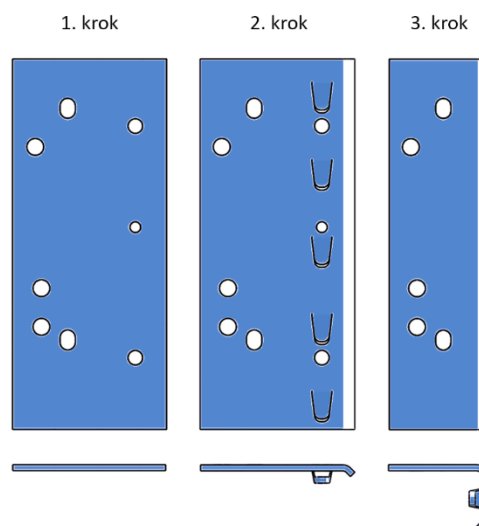
Postupové nástroje vykonávajú súčasne niekoľko operácií. Tvárnený materiál sa v nástroji medzi operáciami posúva po krokoch, daných nástrihovým plánom. Pri voľbe počtu krokov a rozloženia všetkých potrebných operácií je dobré zvážiť niekoľko variant:

- 3 kroky

Pri rozkladaní operácií do jednotlivých krokov je možných množstvo kombinácií. Po zvážení technologickosti jednotlivých operácií a priestorových možností na konštrukciu funkčného nástroja zodpovedajúcich rozmerov je rozumné nasledujúce usporiadanie:

Strih jednoduchých (kruhových a oválnych) otvorov vždy v prvom kroku. Otvory potom môžu v každom nasledujúcom kroku slúžiť pre hľadáky.

Dva ohyby rozdeliť do dvoch krokov. Pri ohybe v jednom kroku je nutné využiť komplikovanejšie konštrukcie ohybníkov a ohybníc (napr. využitie klinov), čo zvyšuje celkovú komplikovanosť nástroja a tak aj náklady k jeho výrobe a údržbe.



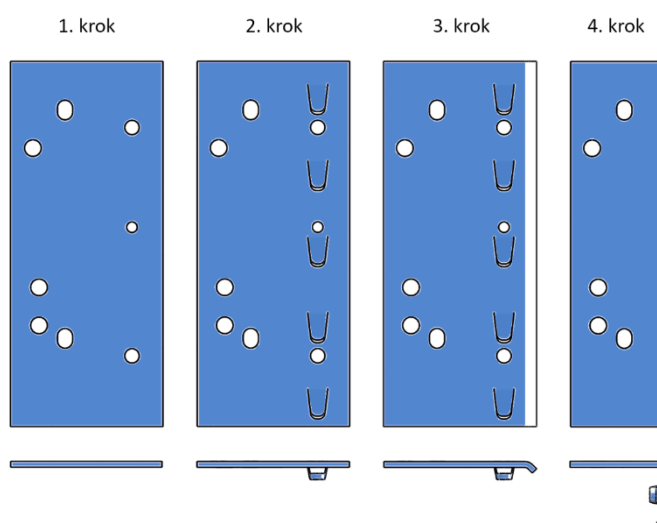
Obr. 42 Variant výroby na 3 kroky

1. krok: dierovanie (3×Ø11; 2× ovál; 1×Ø7; 2×Ø9,5)
2. krok: nastrihovanie (5× zámok) + ohyb (135°)
3. krok: ohyb (90°)

- 4 kroky

Pri konštrukcii nástroja založeného na variante výroby v troch krokoch sa strižníky a ohybník v druhom kroku nachádzajú v tesnej blízkosti. Pre zjednodušenie upínania nástrojov a tak aj zjednodušenie údržby je výhodnejšie rozložiť operácie na viac krokov.

Operácia nastrihovania zámkov je z dôvodu konštrukcie jednoduchšej strižnice vykonaná v druhom kroku. Nástroj je tak rozdelený na časť strižnú a nastrihovaciu (1.÷2. krok) a časť ohýbaciú (3.÷4. krok).



Obr. 43 Variant výroby na 4 kroky

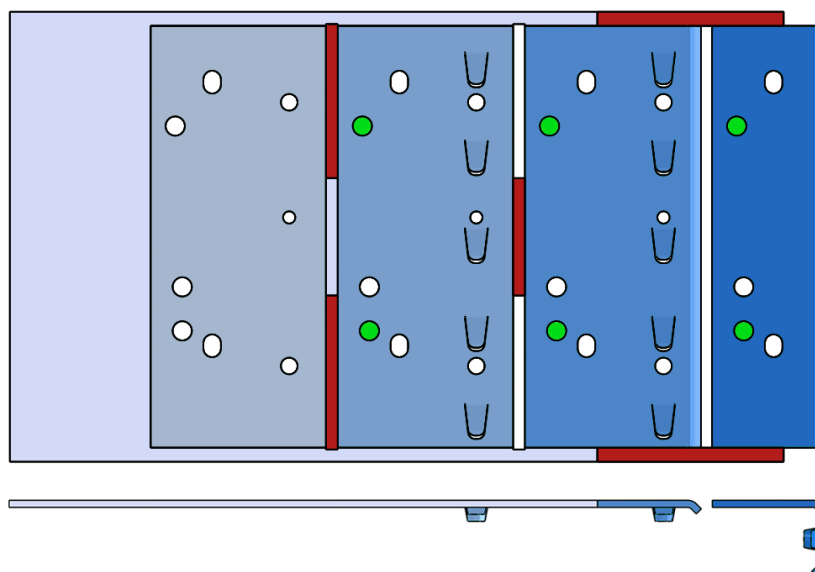
1. krok: dierovanie (3×Ø11; 2× ovál; 1×Ø7; 2×Ø9,5)
2. krok: nastrihovanie (5× zámok)
3. krok: ohyb (135°)
4. krok: ohyb (90°)

Pre vysokú sériovosť vyrábaného dielu je zvolený variant výroby v štyroch krokoch. Takto usporiadané operácie v jednotlivých krokoch sú ideálne z hľadiska technologickosti výroby aj konštrukcie nástroja. Zvýšenie ceny zväčšením rozmerov nástroja je čiastočne kompenzované znížením ceny za úpravy činných častí nástroja z hľadiska obmedzených priestorov na upnutie.

Najpodstatnejšou časťou návrhu je voľba správneho rozloženia a usporiadania vyrábanej súčasti na zvitku plechu. Ako vstupný materiál je uvažovaný zvitok o dĺžke $L_{zvit}=168,75$ m (príloha 2). Rozmery mostíkov a okrajov sú zvolené podľa prílohy 3 a to $e=6,7$ mm a $f=8$ mm.

- Variant výrobného postupu A

Priečne rozmiestnenie obdĺžnikových výstrižkov na zvitku materiálu. Voľba rozloženia vystrihovacích strižníkov sa odvíja od snahy o maximálnu pevnosť uchytenia výstrižku až do úplného odstrihnutia. Rozloženie obvodových strihov do jednotlivých operácií je výhodné z hľadiska upínania nástrojov a silového rozloženia.



Obr. 44 Variant výrobného postupu A

K ekonomickému zhodnoteniu výrobného postupu slúži porovnanie pomocou podielu využitia materiálu. Pre zjednodušenie bude použitý pomer plochy materiálu (S_{mat}) s dĺžkou jedného kroku ku ploche výstrižku (S_{vys}). Konštrukčný odpad sa do výpočtov nezahrňa. Určenie podielu využitia materiálu (η_A):

$$S_{vys} = 240 \cdot 99,69 = 23925,6 \text{ mm}^2$$

$$S_{mat} = (240 + 2 \cdot 8) \cdot (99,69 + 6,7) = 27235,8 \text{ mm}^2$$

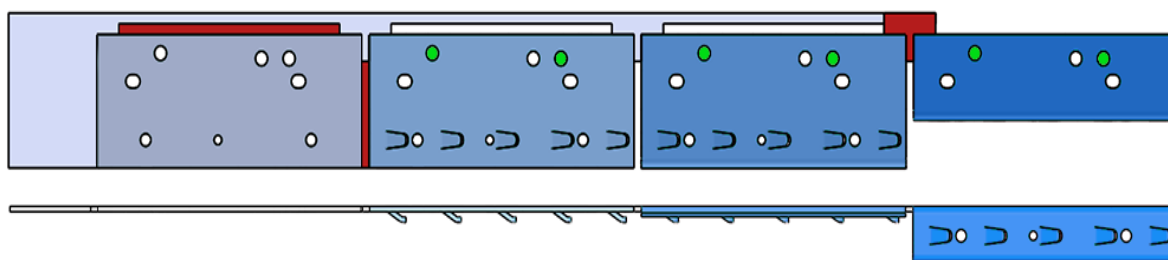
$$\eta_A = \frac{S_{vys}}{S_{mat}} = \frac{23925,6}{27235,8} = 0,878 = 87,8 \%$$

Výhody priečneho usporiadania sú najmä vysoký podiel využitia materiálu, kompaktné rozmery nástroja, osa ohybu kolmo k smeru vlákien materiálu.

Hlavnou nevýhodou je málo miesta k ohybu v treťom kroku a nevýhodné rozloženie mostíkov a okrajov voči operáciám ohybu.

- Variant výrobného postupu B

Pozdĺžne rozmiestnenie obdĺžnikových výstrižkov na zvitku materiálu je ideálne pre možnosti rozmiestnenia vystrihovacích strižníkov voči operáciám ohybu. Vytvorením mostíkov len na jednej strane zvitku materiálu môžeme využiť už existujúcu rovnú strižnú plochu okraja zvitku a minimalizovať tak potrebnú celkovú silu stroja a počet strižníkov a strižníc, najdrahších prvkov nástroja. Kvalita jednej z hrán vyrobeného dielu je závislá od kvality strižnej plochy zvitku plechu. Je preto nutné venovať zvýšenú pozornosť jej kvalite pri výbere dodávateľa materiálu.



Obr. 45 Variant výrobného postupu B

Na obrázku 45 je vystrihovanie naznačené červenou farbou a využitie hľadákov k ustaveniu polotovaru pri strižných a ohýbaciach operáciách farbou zelenou.

Nástroj pre variant B je kvôli pozdĺžnej orientácii rozmernejší, avšak rozmiestnenie jednotlivých operácií je logickejšie. Konceptia s jedným okrajom zastupujúcim aj funkciu mostíka zároveň poskytuje širšie možnosti rozmiestnenia vystrihovania. Obe dlhšie hrany výstrižku sú pre funkciu dielu nepodstatné a tak sa na ich kvalitu nekladú vysoké nároky. Ako ďalší krok pri optimalizácii ekonomického hľadiska výroby preto môže byť návrh výrobného postupu bez okrajov, teda šírka zvitku plechu by bola rovnaká ako šírka strihaného dielu. Takýto variant výroby však prináša aj svoje nevýhody v podobe menšej spoľahlivosti, nutnosti väčšej pridržovacej sily a horšieho vedenia materiálu nástrojom.

Pre malú šírku uvažovaného zvitku pre variant B, sa menia rozmery okrajov a mostíkov. Šírka mostíkov $e=5,5$ mm a šírka okraja $f=6,5$ mm. Šírka bude navýšená o 50 % pre jednoduchší strih obvodu a väčšiu pevnosť spojenia. Podiel využitia materiálu potom bude:

$$S_{\text{vys}} = 240 \cdot 99,69 = 23925,6 \text{ mm}^2$$

$$S_{\text{mat}} = (240 + 5,5) \cdot (99,69 + 1,5 \cdot 6,5) = 26867,5 \text{ mm}^2$$

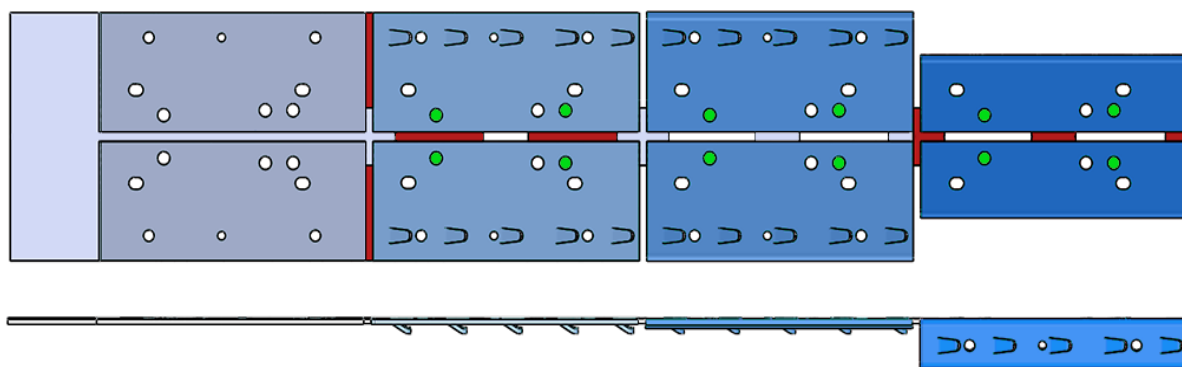
$$\eta_A = \frac{S_{\text{vys}}}{S_{\text{mat}}} = \frac{23925,6}{26867,5} = 0,891 = 89,1 \%$$

Hlavnou výhodou pozdĺžneho usporiadania je menší počet strihov a logickejšia koncepcia usporiadania. Od toho sa odvíja menšia tvárniaca sila, lepšie využitie materiálu (bez okrajov dokonca 97,7 %), jednoduchší prístup k činným prvkom nástroja.

Nevýhodou je menšia kontrola procesu vystrihovania, častejšia výmena zvitku materiálu a osa ohybu rovnobežná s vláknami materiálu.

- Variant výrobného postupu C

Vyrábaný diel je vždy používaný vo dvojici so svojim zrkadlovým obrazom. Pri návrhu nástroja je preto výhodné využitie symetrie a spojenie tak výroby dvoch súčastí do jedného nástroja. Úspora nákladov na jeden väčší nástroj oproti dvom menším je zásadná, preto je toho pri požiadavke výroby zrkadlovo symetrických súčastí veľmi často využívané.



Obr. 46 Variant výrobného postupu C

Pri využití symetrie sa mení aj druh ohybov. Pokiaľ sú jednotlivé páry súčastí v čase ohybu pevne spojené mostíkom, ohýbame ich do tvaru U. Minimalizuje sa tak riziko posunu materiálu pri ohybe s rôznou dĺžkou ramien a zníži sa tak potrebná sila pridržovača.

Celkový počet strižníkov a strižníc potrebných pre výrobu dvoch súčastí je menší ako súčet strižníkov a strižníc pri voľbe výroby v dvoch postupových nástrojoch. Celková sila a práca je minimalizovaná umiestnením výstrižkov na hranu zvitku, obdobne ako pri variante B. Z ekonomického hľadiska je využitie symetrie veľmi výhodné. Odpovedá tomu aj podiel využitia materiálu:

$$S_{\text{vys}} = 2 \cdot 240 \cdot 99,69 = 47851,2 \text{ mm}^2$$

$$S_{\text{mat}} = (240 + 6,7) \cdot (2 \cdot 99,69 + 8) = 51160,6 \text{ mm}^2$$

$$\eta_A = \frac{S_{\text{vys}}}{S_{\text{mat}}} = \frac{47851,2}{51160,6} = 0,935 = 93,5 \%$$

Výhodou je najmä úspora nákladov, nielen pri výrobe nástroja, ale aj pri samotnej výrobe súčastí. Z technologického hľadiska je variant C tiež výhodnejší pre operácie ohýbania.

Nevýhodné pri variante C je riziko popraskania vonkajšej plochy materiálu v mieste ohybu (osa ohybu rovnobežná s vláknami materiálu) a celkové veľké rozmery a hmotnosť nástroja.

Ako najvýhodnejší výrobný postup po stránke ekonomickej, konštrukčnej aj technologickej je variant C. Návrh nástroja bude preto zameraný na strih a ohyb v postupovom združenom nástroji, rozdelenom na štyri kroky s pozdĺžnym symetrickým usporiadaním oboch zrkadlovo symetrických súčastí. Šírka zvitku materiálu je 207,4 mm a veľkosť kroku nástroja 246,7 mm.

3.3 Výpočty strihu

K správnej konštrukcii strižníkov a strižníc, a pre výber správneho stroja je potrebné spočítať základné parametre strihu:

- Strižná vôľa:

Pevnosť materiálu v strihu (vzťah 2.1):

Zvolené: $R_m=500$ MPa

$$\tau_s = 0,8 \cdot R_m = 0,8 \cdot 500 = 400 \text{ MPa}$$

Strižná vôľa (vzťah 2.2):

Zvolené: $c_s=0,02$

$$\begin{aligned} v_s &= 2 \cdot z = 2 \cdot (c_s \cdot s \cdot 1,5 - 0,0015) \cdot 0,32 \cdot \sqrt{\tau_s} = \\ &= 2 \cdot (0,02 \cdot 4 \cdot 1,5 - 0,0015) \cdot 0,32 \cdot \sqrt{400} = 1,52 \text{ mm} \end{aligned}$$

- Strižná sila a práca:

Strižník A ($l_{sA}=21,99$ mm) (vzťah 2.3):

$$\begin{aligned} F_{sA} &= s \cdot l_{sA} \cdot \tau_s \cdot n = 4 \cdot 21,99 \cdot 400 \cdot 1,3 \\ &= 45739,2 \text{ N} = 45,7 \text{ kN} \end{aligned}$$



A

Strižník B ($l_{sB}=29,85$ mm):

$$\begin{aligned} F_{sB} &= s \cdot l_{sB} \cdot \tau_s \cdot n = 4 \cdot 29,85 \cdot 400 \cdot 1,3 \\ &= 62088 \text{ N} = 62,1 \text{ kN} \end{aligned}$$



B

Strižník C ($l_{sC}=34,56$ mm):

$$\begin{aligned} F_{sC} &= s \cdot l_{sC} \cdot \tau_s \cdot n = 4 \cdot 34,56 \cdot 400 \cdot 1,3 \\ &= 71884,8 \text{ N} = 71,9 \text{ kN} \end{aligned}$$



C

Strižník D ($l_{sD}=37,42$ mm):

$$\begin{aligned} F_{sD} &= s \cdot l_{sD} \cdot \tau_s \cdot n = 4 \cdot 37,42 \cdot 400 \cdot 1,3 \\ &= 77833,6 \text{ N} = 77,8 \text{ kN} \end{aligned}$$



D

Strižník E ($l_{sE}=46,22$ mm):

$$\begin{aligned} F_{sE} &= s \cdot l_{sE} \cdot \tau_s \cdot n = 4 \cdot 46,22 \cdot 400 \cdot 1,3 \\ &= 96137,6 \text{ N} = 96,1 \text{ kN} \end{aligned}$$



E

Obr. 47 Dierovacie a nastrihovacie strižníky

Strižník F ($l_{sF}=182,7$ mm):

$$F_{sF} = s \cdot l_{sF} \cdot \tau_s \cdot n = 4 \cdot 182,7 \cdot 400 \cdot 1,3 \\ = 380016 \text{ N} = 380 \text{ kN}$$



Strižník G ($l_{sG}=212$ mm):

$$F_{sG} = s \cdot l_{sG} \cdot \tau_s \cdot n = 4 \cdot 212 \cdot 400 \cdot 1,3 \\ = 440960 \text{ N} = 441 \text{ kN}$$



Strižník H ($l_{sH}=64$ mm):

$$F_{sH} = s \cdot l_{sH} \cdot \tau_s \cdot n = 4 \cdot 64 \cdot 400 \cdot 1,3 \\ = 133120 \text{ N} = 133,1 \text{ kN}$$



Strižník CH ($l_{sCH}=42$ mm):

$$F_{sCH} = s \cdot l_{sCH} \cdot \tau_s \cdot n = 4 \cdot 42 \cdot 400 \cdot 1,3 \\ = 87360 \text{ N} = 87,4 \text{ kN}$$



Strižník I ($l_{sI}=113,4$ mm):

$$F_{sI} = s \cdot l_{sI} \cdot \tau_s \cdot n = 4 \cdot 113,4 \cdot 400 \cdot 1,3 \\ = 235872 \text{ N} = 235,9 \text{ kN}$$



Obr. 48 Vystrihovacie strižníky

Dĺžka všetkých strižných hrán:

$$l_s = 930,68 \text{ mm}$$

Celková strižná sila:

Zvolené: $n=1,3$

$$F_{cs} = s \cdot l_s \cdot \tau_s \cdot n = 4 \cdot 930,68 \cdot 400 \cdot 1,3 = 1935814,4 \text{ N} = 1935,8 \text{ kN}$$

Celková strižná práca (vzťah 2.4):

Zvolené: $\gamma=0,5$

$$A_{cs} = \frac{F_{cs} \cdot s \cdot \gamma}{1000} = \frac{1935814,4 \cdot 4 \cdot 0,5}{1000} = 3871,6 \text{ J} = 3,9 \text{ kJ}$$

• Kontrola strižníkov na vzper:

K bezpečnému a spoľahlivému chodu nástroja je nutné overiť či strižníkom nebude hroziť pri chode nástroja vzper. Výpočet bude orientovaný na strižník A, ktorý má najmenší priemer. Riziko vzperu bude zhodnotené podľa kritickej vzpernej dĺžky strižníka:

Moment zotrvačnosti kruhového prierezu:

$$I = \frac{\pi \cdot d^2}{64} = \frac{\pi \cdot 7^4}{64} = 117,86 \text{ mm}^4$$

Kritická dĺžka vedeného strižníku (vzťah 2.25)

$$l_{\text{krit}} = \sqrt{\frac{4 \cdot \pi^2 \cdot E \cdot I}{k_{\text{vzp}} \cdot F_{\text{SA}}}} = \sqrt{\frac{4 \cdot \pi^2 \cdot 2,1 \cdot 10^5 \cdot 117,86}{1,5 \cdot 45739,2}} = 119,34 \text{ mm}$$

Strižník A by bol pri práci nástroja často na hranici svojej vzpernej dĺžky, preto budú kruhové strižníky zosilnené. Pre ich malý priemer nebude ich cena výroby príliš navýšená a pre väčšie rozmery sa tak zlepši aj vedenie strižníku vodiacou lištou. Pre strižník A je zvolený priemer zosilnenej časti na $d_A=10 \text{ mm}$ a pre strižníky B÷D na $d_{B÷D}=16 \text{ mm}$.

- Kontrola strižníkov na otláčenie:

Strižná sila spočítaná pre jednotlivé strihy je prenášaná strižníkom a na styčnej ploche pôsobí tlakom o opernú dosku. Je preto nutné výpočtom určiť tieto styčné tlaky a prispôbiť tomu konštrukciu strižníkov (úprava styčnej plochy) a opernej dosky (tepelné spracovanie, voľba vhodného materiálu). Ukotvenie dierovacích strižníkov je konštruované s osadením (zväčšenie priemeru o 3mm).

Výpočet bude vychádzať zo strižníku A podľa vzťahu 2.26:

$$\sigma_{\text{otlA}} = \frac{F_{\text{SA}}}{S_{\text{dpA}}} = \frac{45739,2}{132,73} = 344,6 \text{ MPa}$$

Aj napriek zväčšeniu styčnej plochy osadením je styčný tlak veľký ($>180 \text{ MPa}$) a je nutné opernú dosku kalíť na vysokú tvrdosť.

3.4 Výpočty ohybu

Pre správny návrh ohýbacích nástrojov je nutné výpočtom určiť parametre ohybu, podstatné pre správnu konštrukciu a optimalizáciu nástroja.

Pri výrobe regálovej lišty je potreba realizovať tri ohýbacie operácie:

- Ohyb 148°

V druhom kroku sa tvárni zámok slúžiaci na uchytenie lišty k nosníku. K výrobe tohto prvku je nutné vykonať nastrihnutie obvodu a dvojité ohyb. Polomer ohybu $R_o=3 \text{ mm}$ (pre všetky ohyby na súčasti). V druhom kroku sa súčasne ohýba 10 zámkov súčasti. Ohyb bude pre jeho zložitejší charakter kalibrovaný.

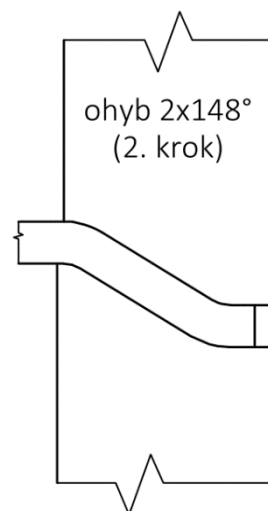
- Ohyb 135°

V treťom kroku dochádza ku ohybu hrany vyrábanej súčasti. Na tento ohyb nie sú kladené žiadne požiadavky zvýšenej presnosti a ide predovšetkým o estetický a bezpečnostný prvok. Osa ohybu je rovnobežná a umiestnená v blízkosti dlhšej hrany vyrábaného dielu.

Aj napriek symetrii, pre uhol ohybu iný ako 90° uvažujeme ohyb do tvaru V.

- Ohyb 90°

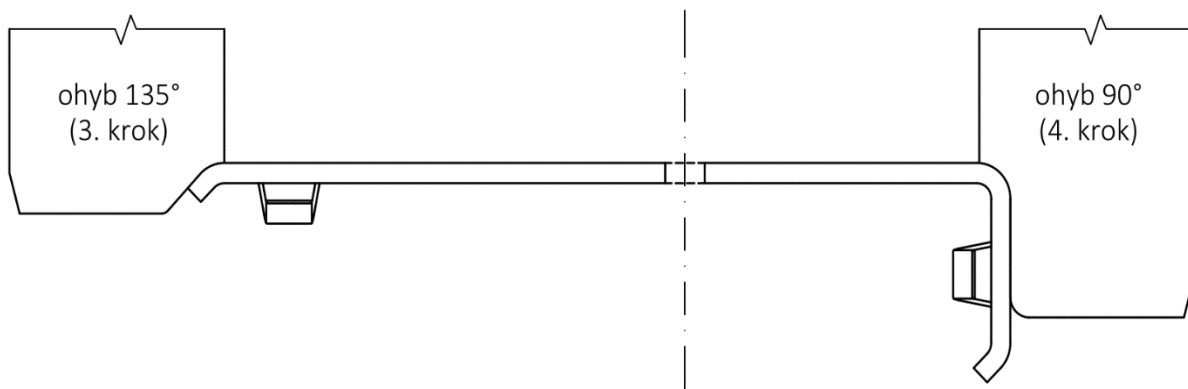
V poslednom kroku pred úplným odstrihnutím súčasti z pásu plechu dochádza k najpodstatnejšiemu ohybu. Pre zvýšenie presnosti ohybu je



Obr. 49 Schéma ohybu 148°

zvolený prístup kalibrácie a pridanie nátláčnej hrany na ohybnicu v blízkosti ohybu, čím dôjde k plastickému pretvoreniu materiálu. Osa ohybu je rovnobežná s dlhšou hranou vyrábaného dielu a nachádza sa približne v strede súčasti. Jednotlivé páry sú pri ohyboch spojené mostíkom a tak uvažujeme ohyb do tvaru U.

Tvar ohybnice musí byť prispôsobený tvaru ohýbanej súčasti v danom kroku. V prípade ohybu 135° a 90° musí obsahovať vybrania pre zámky nastrihnuté a ohnuté v druhom kroku.



Obr. 50 Schéma ohybov v treťom a štvrtom kroku

- Odpruženie pri ohybe:

Pre dosiahnutie čo možno najpresnejšieho uhlu po ohybe je nutné poznať uhol odpruženia. Pri konštrukcii nástrojov je potom jednoduchou úpravou geometrie ohybníkov a ohybníc možné eliminovať vplyv odpruženia.

Uhol odpruženia pri ohybe do tvaru V (ohyb 148° a 135°) podľa vzťahu 2.5:

Zvolené: $k=0,97$ MPa

$$\tan \beta_{148} = 0,375 \cdot \frac{l_{v148}}{k \cdot s} \cdot \frac{R_e}{E} = 0,375 \cdot \frac{15,7}{0,97 \cdot 4} \cdot \frac{355}{2,1 \cdot 10^5} = 2,565 \cdot 10^{-3}$$

$$\beta_{148} = 0,147 \text{ rad} = 0^\circ 8' 49''$$

$$\tan \beta_{135} = 0,375 \cdot \frac{l_{v135}}{k \cdot s} \cdot \frac{R_e}{E} = 0,375 \cdot \frac{6,91}{0,97 \cdot 4} \cdot \frac{355}{2,1 \cdot 10^5} = 1,129 \cdot 10^{-3}$$

$$\beta_{135} = 0,065 \text{ rad} = 0^\circ 3' 53''$$

Uhol odpruženia pri ohybe do tvaru U (ohyb 90°) podľa vzťahu 2.6:

$$\tan \beta_{90} = 0,75 \cdot \frac{l_{u90}}{k \cdot s} \cdot \frac{R_e}{E} = 0,75 \cdot \frac{12,4}{0,97 \cdot 4} \cdot \frac{355}{2,1 \cdot 10^5} = 4,052 \cdot 10^{-3}$$

$$\beta_{90} = 0,232 \text{ rad} = 0^\circ 13' 56''$$

Vypočítané odpruženie je zanedbateľné. Je to dané malým polomerom a ramenami ohybu na ktoré sú uvedené vzťahy citlivé. Uhol odpruženia bude preto uvažovaný 2° a každý z ohybov bude kalibrovaný.

• Ohýbacia sila a práca:

Obdobne ako pri strižných operáciách je výpočet sily a práce potrebný k výberu správneho tvárniaceho stroja. Výpočet ohýbacej sily je rozdielny pre ohyb do tvaru V a do tvaru U.

Ohýbacia sila pri ohybe do tvaru V (ohyb 148° a 135°) podľa vzťahu 2.7:

$$F_{o148} = \frac{b \cdot s^2 \cdot R_e}{2 \cdot R_o} \cdot \tan \frac{\alpha_{148}}{4} = \frac{(12,46 + 9,26) \cdot 4^2 \cdot 355}{2 \cdot 3} \cdot \tan \frac{148}{2}$$

$$= 15494,3 \text{ N} = 15,5 \text{ kN}$$

$$F_{o135} = \frac{b \cdot s^2 \cdot R_e}{2 \cdot R_o} \cdot \tan \frac{\alpha_{135}}{4} = \frac{240 \cdot 4^2 \cdot 355}{2 \cdot 3} \cdot \tan \frac{135}{4}$$

$$= 151810,2 \text{ N} = 151,8 \text{ kN}$$

Ohýbacia sila pri ohybe do tvaru U (ohyb 90°) podľa vzťahu 2.8:

Zvolené: $f=0,15$

$$F_{o90} = \frac{b \cdot s^2 \cdot R_e}{R_o + s} \cdot (1 + 7 \cdot f) = \frac{240 \cdot 4^2 \cdot 355}{3 + 4} \cdot (1 + 7 \cdot 0,15)$$

$$= 399222,9 \text{ N} = 399,2 \text{ kN}$$

Kalibračná sila (vzťah 2.9):

Zvolené: $p=125 \text{ MPa}$

$$F_{k148} = S_{148} \cdot p = 249,7 \cdot 125 = 31217,5 \text{ N} = 31,2 \text{ kN}$$

$$F_{k135} = S_{135} \cdot p = 2300,7 \cdot 125 = 287590 \text{ N} = 287,6 \text{ kN}$$

$$F_{k90} = S_{90} \cdot p = 3083,8 \cdot 125 = 385475 \text{ N} = 385,5 \text{ kN}$$

Trecia sila pri ohybe do V (vzťah 2.10):

$$F_{t148} = \frac{1}{3} \cdot F_{o148} = \frac{1}{3} \cdot 15494,3 = 5164,8 \text{ N} = 5,2 \text{ kN}$$

$$F_{t135} = \frac{1}{3} \cdot F_{o135} = \frac{1}{3} \cdot 151810,2 = 50603,4 \text{ N} = 50,6 \text{ kN}$$

Pridržiavacia sila (vzťah 2.11):

$$F_{p148} = \frac{1}{4} \cdot F_{o148} = \frac{1}{4} \cdot 15494,3 = 3873,6 \text{ N} = 3,9 \text{ kN}$$

$$F_{p135} = \frac{1}{4} \cdot F_{o135} = \frac{1}{4} \cdot 151810,2 = 37952,6 \text{ N} = 38 \text{ kN}$$

$$F_{p90} = \frac{1}{4} \cdot F_{o90} = \frac{1}{4} \cdot 399222,9 = 99805,7 \text{ N} = 99,8 \text{ kN}$$

Celková ohýbacia sila (vzťah 2.12 a 2.13):

$$F_{co148} = 10 \cdot (F_{o148} + F_{k148} + F_{t148} + F_{p148})$$

$$= 10 \cdot (15,5 + 31,2 + 5,2 + 3,9) = 558 \text{ kN}$$

$$F_{co135} = 2 \cdot (F_{o135} + F_{k135} + F_{t135} + F_{p135})$$

$$= 2 \cdot (151,8 + 287,6 + 50,6 + 38) = 1056 \text{ kN}$$

$$F_{co90} = F_{o90} + F_{k90} + F_{p90} = 399,2 + 385,5 + 99,8 = 884,5 \text{ kN}$$

$$F_{co} = F_{co148} + F_{co135} + F_{co90} = 558 + 1056 + 884,5 = 2498,5 \text{ kN}$$

Celkovú prácu môžeme pre všetky ohyby určiť súčasne voľbou vhodného koeficientu zaplnenia a kombináciou vzťahov 2.14 a 2.15. Pracovný zdvih nástroja bol zvolený podľa zdvihu normalizovaných pružín, zdvihu nadvihovačov daného geometriou súčasti a pridaním bezpečnostnej rezervy.

Zvolené: $h_o=60 \text{ mm}$ a $m=0,5$

$$A_{co} = F_{co} \cdot h_o \cdot m = 2498,5 \cdot 60 \cdot 0,5 = 74955 \text{ J} = 75 \text{ kJ}$$

3.5 Voľba stroja

Pri výbere vhodného tvárniaceho stroja je podstatné zohľadniť niekoľko parametrov. Najpodstatnejším je celková požadovaná menovitá sila stroja. Požadovaná sila je daná súčtom celkovej strižnej a ohýbacej sily:

$$F_{lis} = F_{cs} + F_{co} = 1935,8 + 2498,5 = 4434,3 \text{ kN}$$

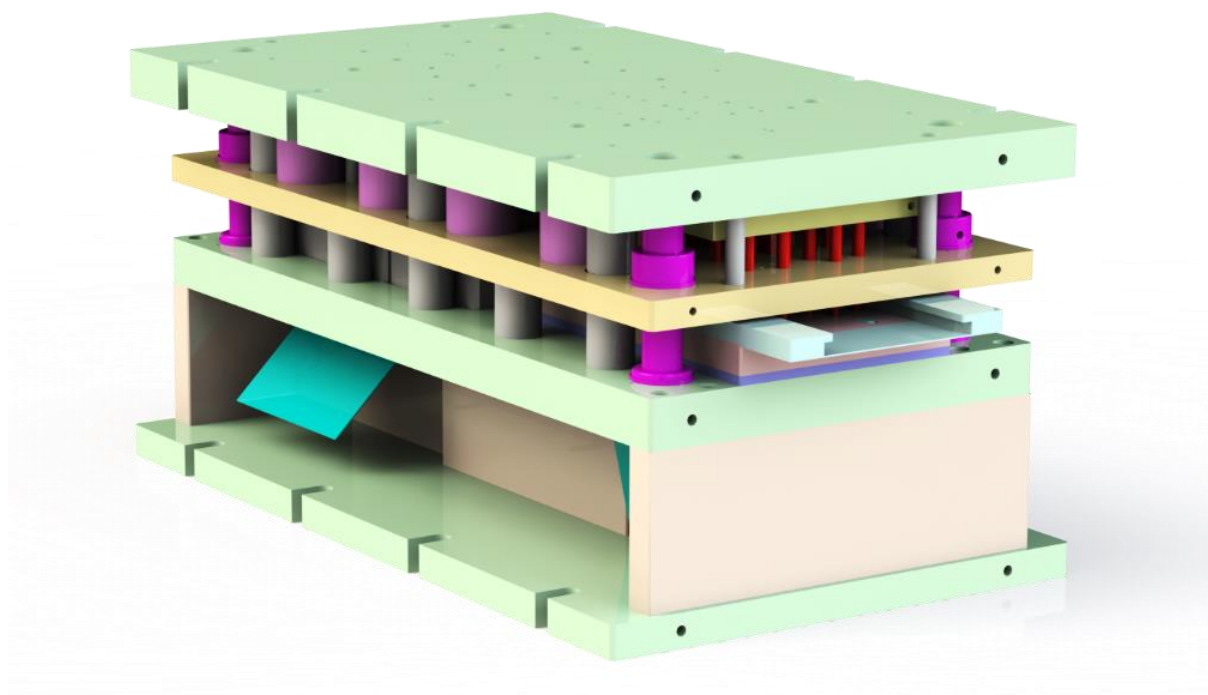
Ďalším parametrom podstatným pri výbere stroja je rozmer pracovnej plochy stroja. Celkové rozmery nástroja sú $1200 \times 600 \times 580 \text{ mm}$. Treba rátať s plochou väčšou, aby mohol byť nástroj umiestnený ťažiskom síl do stredu upínacej plochy a nezaťažoval tak stroj prídavnými silami a momentami.



Obr. 51 Výrobná linka s odvíjačkou, podávačkou a lisom Arisa 630t [36]

3.6 Návrh nástroja

Pre výrobu súčasti technológiou strihu a ohybu v postupovom združenom nástroji je nutné navrhnuť vhodný nástroj. Pri návrhu nástroja sa vychádza zo základných zásad pre ich konštrukciu, výpočtov podstatných technologických a konštrukčných parametrov ako aj technickej vybavenosti výrobných priestorov.



Obr. 53 Postupový združený nástroj k výrobe regálovej lišty

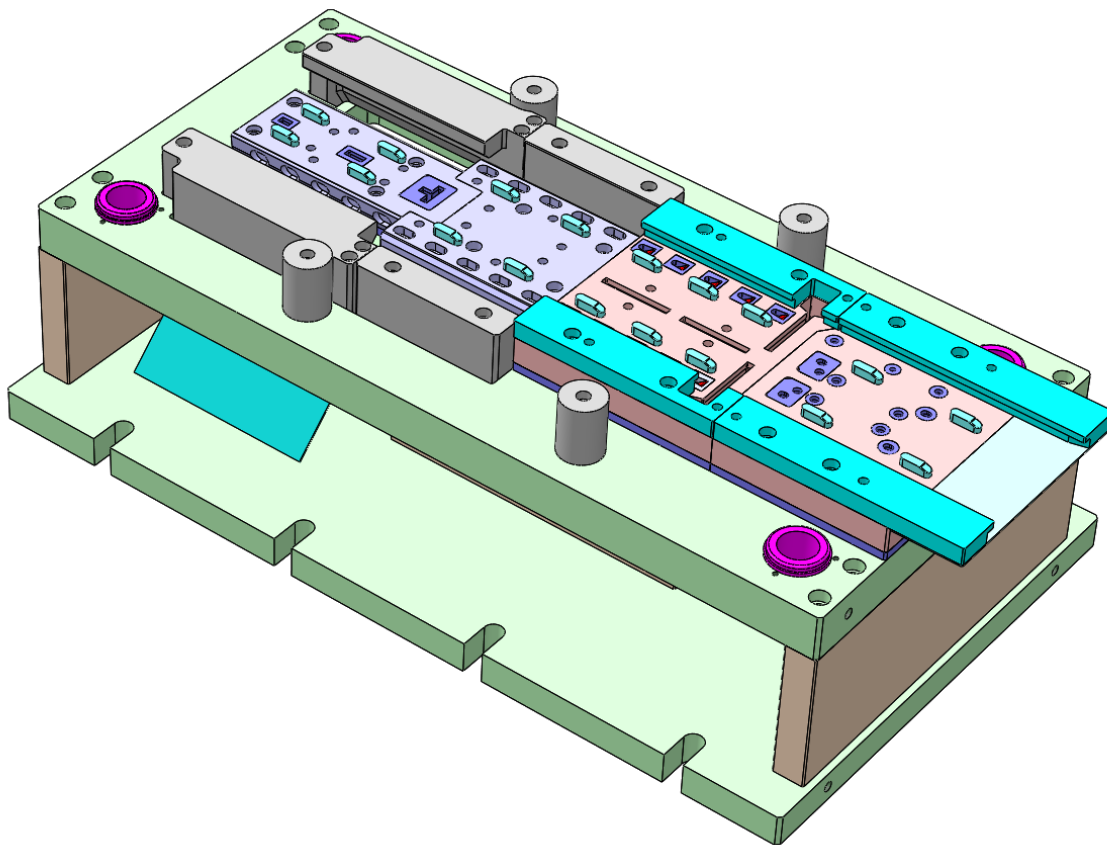
Nástroj je možné rozdeliť na časť pevnú a pohyblivú. Pevná časť je uchytená cez spodnú upínaciu dosku úpinkami k stolu stroja. Pohyblivá časť pomocou hornej upínacej dosky k baranu stroja.

Pevná časť sa dá rozdeliť na niekoľko častí podľa funkcie. K správne vypadávaniu výstrižkov a odpadu je pod základnou doskou nutný priestor. K upínacej doske sú preto technológiou zvarovania prichytené dištančné dosky, vďaka ktorým je základná doska nástroja zdvihnutá o 200 mm nad spodnú upínaciu dosku.

Základná doska má v sebe otvory na prepádanie odpadu a hotových výstrižkov. Pre usmernenie vypadávajúcich častí slúžia plechové sklzy, pripevnené skrutkami k základnej doske zo spodnej časti. V rohoch základnej dosky sú osadené nakupované vodiace puzdrá, pomocou ktorých je vymedzená vzájomná poloha pevnej a pohyblivej časti. Pre vymedzenie pohybu a predídenie kolízií sú používané dorazy. Ich konštrukcia musí byť dostatočne mohutná aby pri zlom nastavení zdvihu stroja zabránili kolízii a deštrukcii nástroja.

Strižnice sú k základnej doske uchytené prostredníctvom spodnej opornej dosky. Spodná oporná doska je použitá pre podopieranie strižných vložiek, jednoduchšie a presnejšie upínanie strižníc a prípadné ladenie výrobného procesu. Strižnica je rozdelená na dve časti pre jednoduchšiu výrobu a údržbu nástroja. Pre všetky strihy (okrem strihov F a G) sú strižnice vložkované. Využívanie nakupovaných dielov a polotovarov znižuje výslednú cenu nástroja. V strižnici sa pohybujú nadvihovače, ktoré pri odľahčení nástroja po dosiahnutí dolnej úvrate nadvihnú tvárnený materiál a umožnia mu tak posunúť sa k ďalšiemu kroku nástroja.

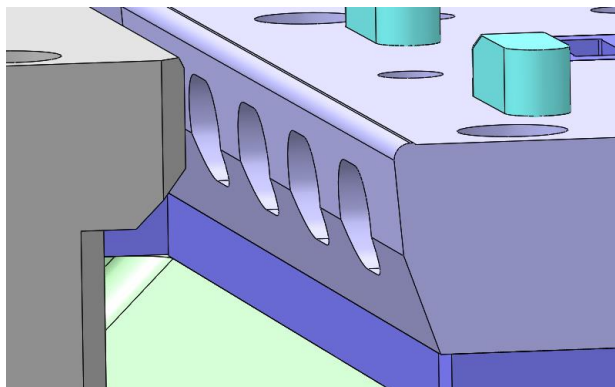
V poslednom kroku slúžia nadvihovače zároveň ako vyhadzovače a po odstrihnutí hotového výstrižku ho prevážia cez hranu ohybnice. Nadvihovače sú vytláčané nakupovanými pružinami (príloha 4). Pre výrobu zámkov regálovej lišty je v druhom kroku nutné tvar zámku nastrihnúť a následne zohnúť. Pre správny tvar ohýbanej časti po kalibrácii je v strižnej vložke zalisovaná profilovaná ohybnica.



Obr. 54 Spodná časť postupového združeného nástroja

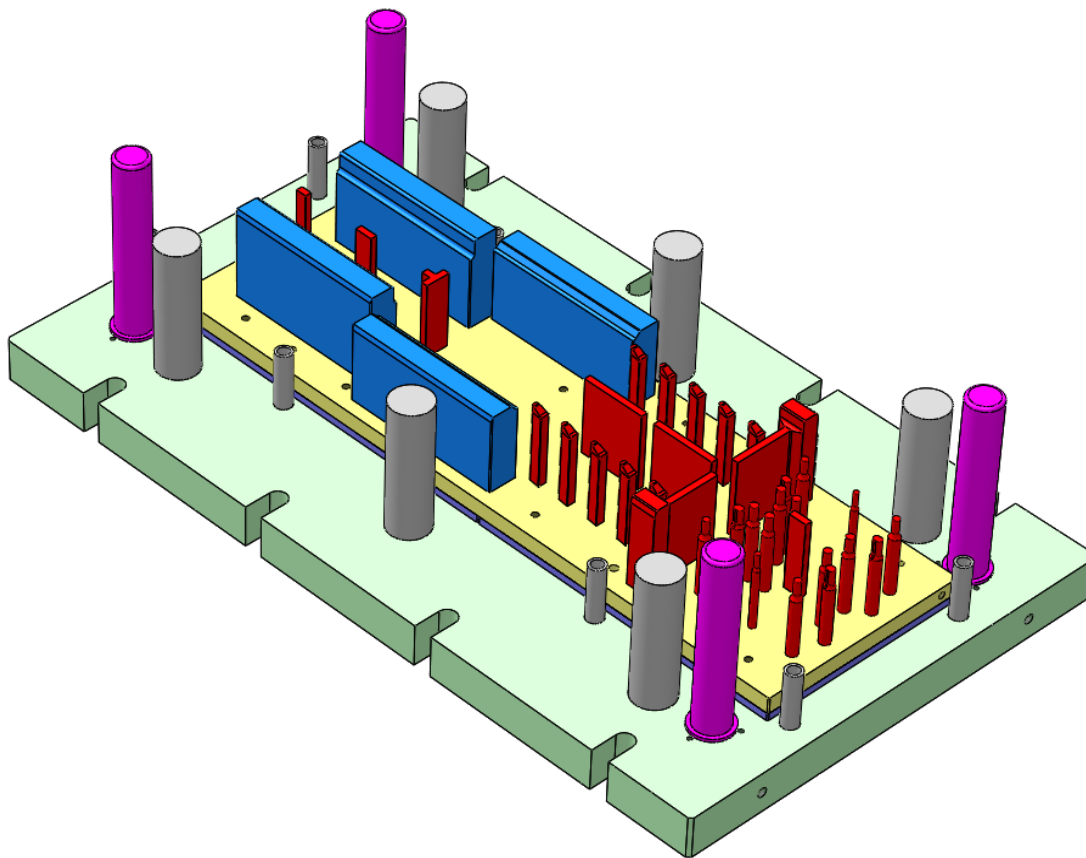
V strižnej časti nástroja je materiál vedený vodiacimi lištami. tie sú tvarované tak, aby materiál po nadvihnutí a posune k ďalšiemu kroku mal presne vymedzenú dráhu. Pri vstupe materiálu do nástroja prečnievajú lišty cez základnú dosku. Sú doplnené o podperný plech a pre jednoduchšie zavádzanie materiálu skosené.

V ohýbacej časti nástroja sú upevnené prostredníctvom opornej dosky ohybnice. Oporná doska slúži najmä pre podopretie strižných vložiek v poslednom kroku. Pre minimalizáciu namáhania ohybníkov na ohyb je základná doska doplnená o vodiace bloky. Ohybnica v poslednom kroku je doplnená o nátláčnu hranu, ktorá plasticky zdeformuje materiál v okolí ohybu a zamedzí tak odpruženiu ohýbaného dielu. Ohybnice obsahujú vybrania pre zámkovú regálovú lištu, ohýbanú v druhom kroku.



Obr. 55 Detail nátláčnej hrany a podkosenia ohybnice

Ohybnica v poslednom kroku je podkosená, aby tak vznikol priestor pre správne vypadávanie hotových výstrižkov preč z nástroja.

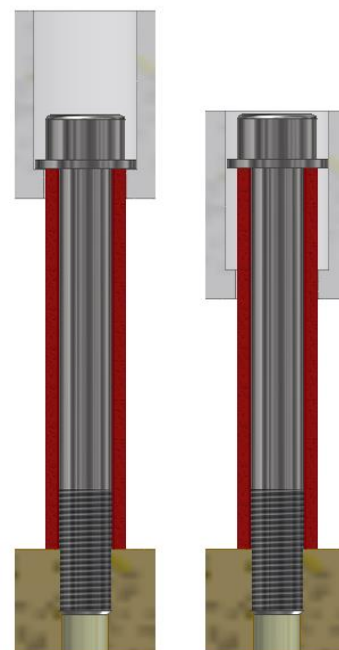


Obr. 56 Horná časť postupového združeného nástroja (pohľad zdola)

Základným prvkom pohyblivej časti nástroja je horná upínacia doska. Po okraji sú vybrania pre upnutie k baranu stroja. K základnej doske sú upnuté nakupované vodiace kolíky (príloha 5) priemeru 50 mm a dorazy.

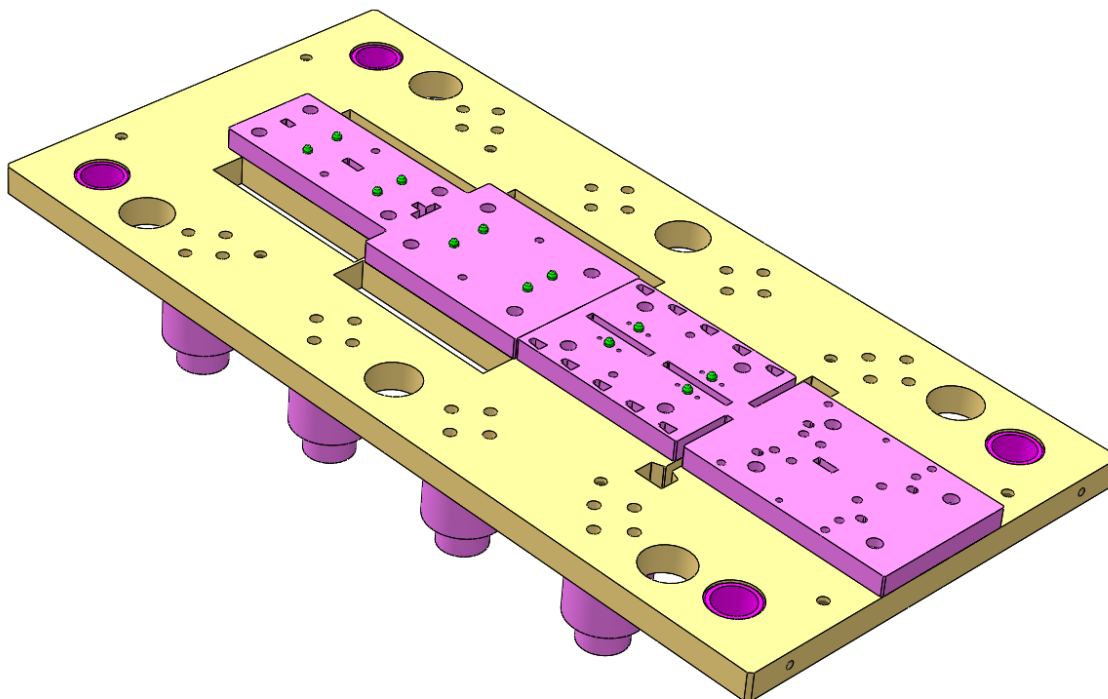
Oporná doska je pre nižšie náklady na výrobu delená medzi druhým a tretím krokom. Kotviaca doska je pomocou kolíkov a skrutiek uchytená k hornej upínacej doske. Kotviacou doskou je určená presná poloha strižníkov a ohybníkov. Kruhovú a oválnu strižníky sú uchytené osadením, ohybníky a ostatný strižníky sú uchytené skrutkami k hornej upínacej doske. Strižník F má pre svoju malú šírku rozšírenie. Tak je zvýšená pevnosť a zjednodušené upínanie. Ohybníky sú pre veľké ohýbacie sily konštruované dostatočne masívne a každý je upnutý až tromi skrutkami.

Ako ďalší pohyblivý prvok stroja je vodiaca doska. K hornej upínacej doske je uchytená pomocou skrutiek a dištančných rúrok. Tie umožňujú vzájomný jednoosý pohyb vodiacej dosky voči hornej upínacej doske a zároveň, po dosiahnutí dolnej úvrate a pohybe baranu stroja smerom hore, zdvíhajú vodiacu dosku s pridržovačom. Vodiaca doska slúži na zvýšenie presnosti polohy strižníka voči strižnici a zároveň na zmenšenie rizika vzperu štíhlych strižníkov.



Obr. 57 Princíp uchytenia vodiacej dosky

K vodiacej doske sú uchytené pridržovače, ktoré dopomáhajú udržať tvárnený materiál pri jednotlivých operáciách v správnej polohe. Pri ohyboch v treťom a štvrtom kroku je pridržovanie materiálu na ohybnici nutné, inak by došlo ku ohybu materiálu v mostíkoch.

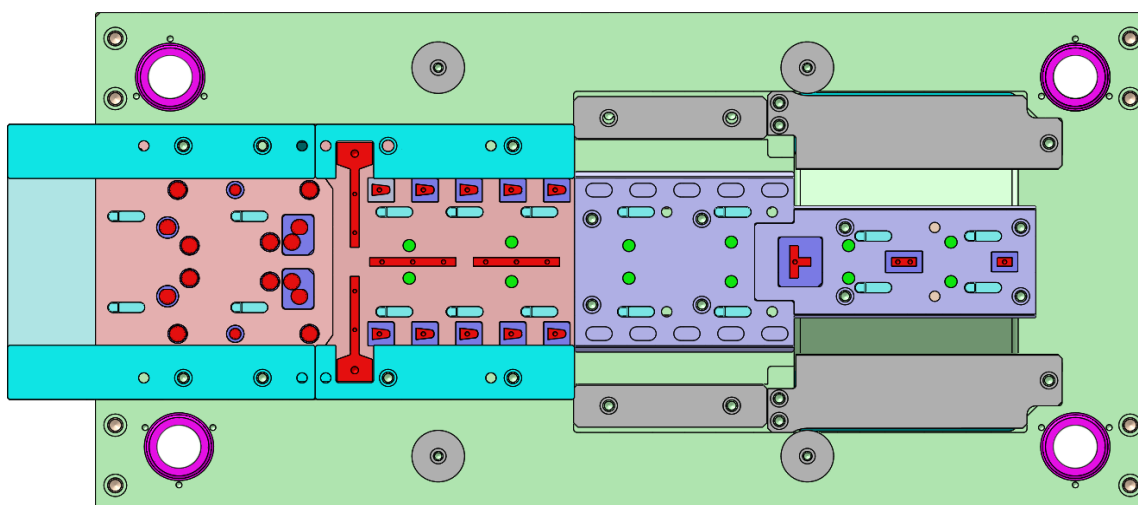


Obr. 58 Vodiaca doska osadená pridržovačmi a pružinami (pohľad zdola)

Pridržiavacia sila pôsobí od ôsmich vzduchových pružín CW 4200 V1 (príloha 6). Súčasťou pridržovačov sú hľadáky. Využívajú otvor od strihu C, ktorý je vystrihnutý v prvom kroku.

V rohoch vodiacej dosky sú upnuté vodiace puzdrá, vďaka ktorým má vodiaca doska aj napriek pohybu počas chodu nástroja presnú polohu voči ostatným funkčným častiam nástroja.

Všetky rozmernejšie a hmotnejšie časti nástroja sú po stranách vybavené otvormi s vhodným závitom (M12 alebo M16), do ktorých sa pri výrobe, montáži a údržbe nástroja naskrutkujú nosné oká. Hrúbka jednotlivých dosiek bola určená odhadom, zohľadňujúc silové zaťaženie a ekonomickosť výroby.



Obr. 59 Náhľad do činnej časti nástroja

4 EKONOMICKÝ NÁVRH

Pre správne zhodnotenie výroby je potrebné vytvoriť ekonomický návrh zvoleného riešenia. Medzi podstatné ukazatele parí celková cena jedného vyrobeného kusu a bod zvratu. Ročná séria vyrábanej súčasti je 400 000 kusov. Výpočet vychádza z predpokladu, že výrobný stroj a odvíjacia, rovnacia a podávacia linka sú majetkom výrobného závodu. Dosádzané hodnoty sú orientačné.

Náklady spojené s výrobou súčasti je možné rozdeliť na náklady priame a náklady nepriame. Výsledná cena súčasti je daná súčtom všetkých nákladov spojených s jej výrobou.

- Priame náklady

Náklady na materiál:

Hmotnosť jedného kroku:

$$m_{\text{kro}} = V_{\text{kro}} \cdot \rho \cdot 10^{-9} = 246,7 \cdot 207,4 \cdot 4 \cdot 7850 \cdot 10^{-9} = 1,607 \text{ kg}$$

kde: V_{kro} – objem materiálu na jeden krok [mm^3]

ρ_{ocel} – hustota oceli ($\rho=7850$) [$\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$]

Hmotnosť jedného páru súčasti:

$$m_{\text{pár}} = 2 \cdot m_{\text{súč}} = 2 \cdot 0,726 = 1,452 \text{ kg}$$

kde: $m_{\text{súč}}$ – hmotnosť súčasti (určené programom SolidWorks) [kg]

Hmotnosť odpadu:

$$m_{\text{odp}} = m_{\text{kro}} - m_{\text{pár}} = 1,607 - 1,452 = 0,155 \text{ kg}$$

Cena materiálu na jeden krok:

$$N_{\text{kro}} = m_{\text{kro}} \cdot C_{\text{nák}} = 1,607 \cdot 24 = 38,568 \text{ Kč}$$

kde: $C_{\text{nák}}$ – nákupná cena materiálu S355MC (odhadom) [Kč]

Cena odpadu:

$$N_{\text{odp}} = m_{\text{odp}} \cdot C_{\text{výk}} = 0,155 \cdot 8 = 1,240 \text{ Kč}$$

kde: $C_{\text{výk}}$ – výkupná cena materiálu S355MC (odhadom) [Kč]

Cena materiálu súčasti:

$$N_{\text{mat}} = \frac{N_{\text{kro}} - N_{\text{odp}}}{2} = \frac{38,568 - 1,24}{2} = 18,664 \text{ Kč}$$

Náklady na mzdy:

K výrobe súčasti je potrebný jeden pracovník. Jeho práca zodpovedá vo výmene zvitkov vstupného materiálu a skladovaní hotových súčastí. Trvanie smeny je štandardne uvažované 7,5 h. Reálny výrobný čas je odhadovaný na 6 h chodu stroja taktom 15 zdvihov za minútu. Hodinová mzda pracovníka je 130 Kč.

Počet vyrobených súčastí za smenu (nástroj vyrába vždy dve súčasti súčasne):

$$n_{\text{szs}} = 2 \cdot 6 \cdot 60 \cdot 15 = 10800 \text{ ks}$$

Náklady na mzdy za smenu:

$$N_{mzs} = 7,5 \cdot 130 = 975 \text{ Kč}$$

Cena práce za súčast':

$$N_{prá} = \frac{N_{mzs}}{n_{szs}} = \frac{975}{10800} = 0,090 \text{ Kč}$$

Náklady na energie:

K výrobe súčasti sa spotrebuje určité množstvo elektrickej energie. Pre jej hrubé stanovenie je možné vychádzať z celkovej vykonanej práce pri jednom zdvihu a vhodným odhadom zohľadniť energetické straty a nepriamu spotrebu elektrickej energie celej linky. Cena kWh je uvažovaná 4,3 Kč.

Potrebný tvárniaci výkon:

$$P_{ptv} = \frac{A_{cs} + A_{co}}{t_{cyk}} = \frac{3871,6 + 74955}{60/15} = 19706 \text{ W} = 19,7 \text{ kW}$$

Spotreba elektrickej energie za smenu:

$$P_{ezs} = P_{cyk} \cdot 6 \cdot 60 \cdot 15 \cdot k_s = 19,7 \cdot 6 \cdot 2 = 236,4 \text{ kWh}$$

kde: k_s – koeficient strát a zohľadnenia celku (zvolený odhadom) [-]

Náklady na energie za smenu:

$$N_{ezs} = P_{ezs} \cdot 4,3 = 236,4 \cdot 4,3 = 1016,52 \text{ Kč}$$

Cena energií na výrobu súčasti:

$$N_{ene} = \frac{N_{ezs}}{n_{szs}} = \frac{1016,52}{10800} = 0,094 \text{ Kč}$$

- Nepriame náklady

Náklady na nástroj:

Cena výroby nástroja je určená odhadom. Rozhodujúca je pritom jeho veľkosť a zložitosť. Predpokladaná cena výroby nástroja sa pre účely výpočtu uvažuje

$$N_{nás} = 1\,100\,000 \text{ Kč}$$

Ostatné náklady:

Pre presné výpočty celkovej ceny výroby súčasti v praxi, sa uvažuje aj s nákladmi na réžiu. Každý výrobca si tieto náklady určuje individuálne a preto nebudú ostatné náklady do výpočtu zahrnuté.

- Celkové náklady

Celkové náklady spojené s výrobou súčasti:

$$N_{\text{súč}} = N_{\text{mat}} + N_{\text{prá}} + N_{\text{ene}} = 18,664 + 0,090 + 0,094 = 18,848 \text{ Kč}$$

Zisk generovaný predajom súčasti (marža 50 %):

$$Z_{\text{súč}} = N_{\text{mat}} \cdot 0,5 = 18,848 \cdot 0,5 = 9,424 \text{ Kč}$$

Počet predaných kusov nutných k návratu investície do nástroja:

$$n_{\text{pre}} = \frac{N_{\text{nás}}}{Z_{\text{súč}}} = \frac{1100000}{9,424} = 116723,3 \cong 116724 \text{ ks}$$

Súčasti sú vyrábané vždy v pároch. Nástroj sa teda splatí po 58362 zdvihoch. Pri životnosti nástrojov v rádoch miliónov cyklov je cena nástroja pri dlhodobejšie prebiehajúcej výrobe minimálna. Pre presnejšie ekonomické zhodnotenie by bolo potrebné zohľadniť ostatné nepriame náklady.

5 ZÁVERY

K výrobe regálovej lišty bol pre veľkú sériovosť zvolený variant výroby využívajúci technológie strihania a ohýbania v nástroji. Vyrábaná súčasť spĺňa základné technologické zásady pre výrobu zvolenými technológiami.

Pre optimalizáciu výroby bol zvolený postupový združený nástroj pozostávajúci zo štyroch krokov, a to jedného strižného, jedného združeného a dvoch ohýbacích. Následne bolo rozhodnuté o vhodnom variante výrobného postupu. Ukázalo sa že výroba súčasti v dvoch, navzájom zrkadlovo symetrických variantoch je najekonomickejšia.

Na základe výpočtov boli upresnené požiadavky na konštrukciu nástroja a výber vhodného stroja. Nástroj tak obsahuje vodiacu dosku na obmedzenie rizika vzperu a kalenú opornú dosku pre zamedzenie otláčania strižníkov. Bude upnutý do mechanického výstredníkového lisu Arisa 630t, ktorý zodpovedá požiadavkám na výrobu po stránke silovej aj rozmerovej.

Materiál na výrobu súčasti je za tepla valcovaná, jemnozrnná oceľ vo forme zvitku šírky 207,4 mm. Zo zvitku bude do nástroja dodávaný pomocou odvíjacej, rovnacej a podávacej linky. Veľkosť kroku je 246,7 mm. K vybraným častiam nástroja bola vyhotovená výkresová dokumentácia, ktorá je súčasťou prílohy tohto dokumentu.

Po stránke ekonomickej bola stanovená cena výroby jednej súčasti na 18,8 Kč a návratnosť investície do postupového združeného nástroja na 116724 kusov predaných so ziskom 50 %.

ZOZNAM POUŽITEJ LITERATÚRY [37]

1. DVOŘÁK, Milan. *Technologie II*. Vyd. 3., dopl. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2004. ISBN 80-214-2683-7.
2. FOREJT, Milan a Miroslav PÍŠKA. *Teorie obrábění, tváření a nástroje*. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2006. ISBN 80-214-2374-9.
3. Klikové lisy. *Šmeral* [online]. [cit. 2018-03-12]. Dostupné z: http://www.smeral.cz/klikove_lisy.html
4. Stamping tool. *Dietze group* [online]. 2017 [cit. 2018-05-10]. Dostupné z: <http://www.dietzegroup.com/en/connector-pins-stamping/stamping-tools/>
5. Metal Stamping Parts. *Chinametalparts* [online]. [cit. 2018-01-24]. Dostupné z: http://www.chinametalpartsco.com/product_119_Metalstampingcomponents.html
6. Normy technických dodacích předpisov. *Bolzano* [online]. 2013 [cit. 2018-01-28]. Dostupné z: http://www.bolzano.cz/assets/files/TP/Ploche_vyroby/MOP_EN10149TDP.pdf
7. Katalóg. *Meta* [online]. 2017, [cit. 2018-04-02]. Dostupné z: https://www.meta-online.com/?eID=tx_medoxomi_build&pages=0&catalogue=79&lang=2
8. SAMEK, Radko, Zdeněk LIDMILA a Eva ŠMEHLÍKOVÁ. *Speciální technologie tváření: Část II*. Vyd. 1. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2011, 155 s. ISBN 978-80-214-4406-5.
9. NOVOTNÝ, Josef a Zdeněk LANGER. Stříhání a další způsoby dělení kovových materiálů. Vyd. 1. Praha: SNTL, Redakce báňské a strojírenské literatury, 1980. 216 s.
10. Řezání kovů. *Eluc* [online]. Olomouc, 2015 [cit. 2018-02-22]. Dostupné z: <https://eluc.kr-olomoucky.cz/verejne/lekce/1858>
11. Plasma CNC and THC with TNG. *PlanetCNC* [online]. 2017 [cit. 2018-03-10]. Dostupné z: <https://planet-cnc.com/thc-torch-height-control-planetcnc-tng/>
12. Laser cutting. *Capitalsheetmetal* [online]. [cit. 2018-03-10]. Dostupné z: <http://www.capitalsheetmetal.net/services/#LaserCutting>
13. Nozzle Components. *Multicam* [online]. 2011 [cit. 2018-03-10]. Dostupné z: <http://multicam.ca/nozzle-components/>
14. TruBend - Bending machines brochure. *Trumpf* [online]. 2016 [cit. 2018-03-10]. Dostupné z: https://www.trumpf.com/filestorage/TRUMPF_Master/Products/Machines_and_Systems/02_Brochures/TRUMPF-bending-machines-brochure-EN.pdf
15. Customized Stamping Die Tools And Designs. *Feiya* [online]. 2017 [cit. 2018-03-18]. Dostupné z: <http://www.feiyamold.com/Customized-Stamping-Die-Tools-And-Designs-pd6234035.html>
16. DVOŘÁK, Milan, František GAJDOŠ a Karel NOVOTNÝ. *Technologie tváření: Plošné a objemové tváření*. Vyd. 4. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2007. 169 s. ISBN 978-80-214-3425-7.
17. LIDMILA, Zdeněk. *Teorie a technologie tváření I*. Vyd. 1. Brno: Univerzita obrany, 2008, 105 s. ISBN 978-80-7231-579-6.

18. FOREJT, Milan. *Teorie tváření*. Vyd. 1. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2004. 167 s. ISBN 80-214-2764-7.
19. MORAVČÍK, Juraj. *Výroba součástí vysekáváním*. Brno, 2016. 37s, CD. Bakalárska práca. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství. Ústav strojírenské technologie, Odbor technologie tváření. Vedúci práce doc. Ing. Kamil Podaný, Ph.D.
20. FINDA, Luděk a Roman HALTUF. Akademie tváření: Stříhání. *MM Průmyslové spektrum* [online]. 2010. Dostupné tiež z: <http://www.mmspektrum.com/clanek/akademie-tvareni-strihani.html>
21. BOBČÍK, Ladislav. *Strižné nástroje pro malosériovou výrobu*. Vyd. 1. Praha: SNTL - Nakladatelství technické literatury, 1983. 213 s.
22. TATÍČEK, František, Martin KUBELKA a Tomáš PILVOUSEK. Akademie tváření: Technologičnost konstrukce v návrhu výstřížků. *MM Průmyslové spektrum* [online]. 2011, 19.12.2011, 66 [cit. 2018-03-05]. Dostupné z: <https://www.mmspektrum.com/clanek/akademie-tvareni-technologicnost-konstrukce-v-navrhu-vystrizku.html>
23. BAREŠ, Karel. *Lisování: Určeno [také] stud. na stř. a vys. odb. školách*. Praha: SNTL - Nakladatelství technické literatury, 1971, 542 s.
24. FINDA, Luděk a Roman HALTUF. Akademie tváření: Ohýbání. *MM Průmyslové spektrum* [online]. 2010, 22.06.2010, 52 [cit. 2018-04-22]. Dostupné z: <https://www.mmspektrum.com/clanek/akademie-tvareni-ohybani.html>
25. ČSN 22 7340 Tvářecí nástroje Ohýbadla: *Všeobecné požadavky pro výpočet a konstrukci*. Vyd. 1., Praha: ÚNM, 1991. 16s.
26. TATÍČEK, František, Martin OUŠKA a Lukáš TURZA. Akademie tváření: Technologičnost konstrukce při ohýbání. *MM Průmyslové spektrum* [online]. 2012, 11.04.2012, (4), 84 [cit. 2018-04-27]. Dostupné z: <https://www.mmspektrum.com/clanek/akademie-tvareni-technologicnost-konstrukce-pri-ohybani.html>
27. Technologie plošného tváření: Ohýbání. *Technologie II* [online]. Technická univerzita Liberec [cit. 2018-05-02]. Dostupné z: http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce/07.htm
28. NOVOTNÝ, Karel. *Tvářecí nástroje*. Brno: Vysoké učení technické, 1992, 186 s. ISBN 80-214-0401-9.
29. ZEMAN, Karel. *Přípravky, obráběcí a tvářecí nástroje: Nástroje pro tváření*. Vyd.1.. Praha: ČVUT, 1984. 147 s.
30. Technologie plošného tváření: Stříhání. *Technologie II* [online]. Technická univerzita Liberec [cit. 2018-04-27]. Dostupné z: http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce/06.htm
31. NOVOTNÝ, Karel. *Nástroje a přípravky, část I. - tváření*. Vyd. 1., Brno: Rektorát Vysokého učení technického v Brně, 1982. 179 s.
32. ČADA, Radek. *Technologie I*. Studijní opora. Vyd. 1. Ostrava: Editační středisko VŠB - TUO, 2007. 360s. ISBN 978-80-248-1507-7

33. KOTOUČ, Jiří, Jan ŠANOVEC, Jan ČERMÁK a Luděk MÁDLE. *Tvářecí nástroje*. Praha: České vysoké učení technické, 1993. ISBN 80-010-1003-1.
34. HALICIOGLU, Recep, Lale Canan DULGER a Ali Tolga BOZDANA. *Structural design and analysis of a servo crank press*. Engineering Science and Technology, an International Journal [online]. Elsevier B.V, 2016, 19(4), 2060-2072 [cit. 2018-04-23]. DOI: 10.1016/j.jestch.2016.08.008. ISSN 2215-0986
35. STRÁNSKÝ, Luboš. *Stroje a nástroje používané ve tváření*. Brno, 2010. 35s. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně. Fakulta strojního inženýrství. Ústav strojírenské technologie. Vedoucí práce doc. Ing. Kamil Podaný, Ph.D.
36. ARISA press S-2-630-300-150-F-S. *Larreno* [online]. [cit. 2018-05-08]. Dostupné z: http://www.larreno.com/prensa_arisa_en.php
37. CITACE PRO. *Generátor citací* [online]. 2018 [cit. 2018-05-18]. Dostupné z: <http://citace.lib.vutbr.cz/info>
38. Stavební mechanika 2: Momenty setrvačnosti. FSV ČVUT [online]. Praha, 2015 [cit. 2018-05-08]. Dostupné z: http://people.fsv.cvut.cz/~pkabele/SM2/SM2_pr11.pdf
39. Ocel valcovaná za tepla: Bežné konštrukčné akosti ocele. U. S. *Steel Košice* [online]. [cit. 2018-05-08]. Dostupné z: <http://www.usske.sk/sk/produkty/ocel-valcovana-za-tepla/bezne-konstrukcne-akosti-ocle>
40. ŠPAČEK, Jindřich a Ladislav TÁK. *Speciální technologie I a II: návody do cvičení - část: plošné tváření*. Vyd. 1. Praha: VUT Brno, 1991, 109 s. Učební texty vysokých škol. ISBN 80-214-0259-8.
41. Die springs. *DME* [online]. [cit. 2018-04-27]. Dostupné z: <http://dme.worldcat.de/DataCache/DataSheet/en/A5.pdf#page=12>
42. Guiding systems. *DME* [online]. [cit. 2018-04-27]. Dostupné z: <http://dme.worldcat.de/DataCache/DataSheet/en/A4.pdf#page=14>
43. Catalogue. *AZOL GAS* [online]. 2017 [cit. 2018-04-28]. Dostupné z: <http://www.azolgas.es/catalogo.php?opc=3>

ZOZNAM POUŽITÝCH SKRATIEK

Označenie	Názov	Jednotka
A	Ťažnosť	[%]
A _{co}	Celková ohýbacia práca	[J]
A _{cs}	Celková strižná práca	[J]
A _o	Ohýbacia práca	[J]
A _{ou}	Ohýbacia práca (tvar ohybu U)	[J]
A _{ov}	Ohýbacia práca (tvar ohybu V)	[J]
A _s	Strižná práca	[J]
b	Šírka polotovaru	[mm]
c	Súčiniteľ ohybu	[-]
C _{nák}	Nákupná cena materiálu	[Kč]
c _s	Súčiniteľ strižnej vôle	[-]
C _{výk}	Výkupná cena materiálu	[Kč]
D	Menovitý rozmer	[mm]
D _e	Rozmer strižnice	[mm]
D _k	Rozmer strižníku	[mm]
E	Modul pružnosti v ťahu	[MPa]
f	Súčiniteľ trenia	[-]
F _{co}	Celková ohýbacia sila	[N]
F _{cou}	Celková ohýbacia sila (tvar ohybu U)	[N]
F _{cov}	Celková ohýbacia sila (tvar ohybu V)	[N]
F _{cs}	Celková strižná sila	[N]
F _k	Kalibračná sila	[N]
F _{lis}	Požadovaná sila lisu	[N]
F _o	Ohýbacia sila	[N]
F _{ou}	Ohýbacia sila (tvar ohybu U)	[N]
F _{ov}	Ohýbacia sila (tvar ohybu V)	[N]
F _p	Pridržiavacia sila	[N]
F _s	Strižná sila	[N]
F _t	Trecia sila	[N]
h _o	Pracovný zdvih ohybníku	[mm]
I	Moment zotrvačnosti prierezu strižníku	[mm ⁴]
k _s	Koeficient strát a zohľadnenia celku	[-]
k _{vzp}	Koeficient bezpečnosti pre vzper	[-]
L _c	Celková dĺžka polotovaru	[mm]
l _{krit}	Kritická dĺžka strižníku	[mm]
L _o	Dĺžka neutrálnej osy	[mm]
l _s	Dĺžka strižnej hrany	[mm]
l _u	Vzdialenosť medzi podporou a ohybníkom	[mm]
l _v	Vzdialenosť medzi podporami	[mm]
m	Koeficient zaplnenia diagramu	[-]
m _{kro}	Hmotnosť jedného kroku	[kg]
m _{odp}	Hmotnosť odpadu	[kg]
m _{ou}	Vôľa ohýbadiel (tvar ohybu U)	[mm]
m _{ov}	Vôľa ohýbadiel (tvar ohybu V)	[mm]
m _{pár}	Hmotnosť jedného páru súčastí	[kg]

n	Súčiniteľ otupenia nástroja	[-]
N_{cel}	Celkové náklady	[Kč]
N_{ene}	Cena energií na výrobu súčasti	[Kč]
N_{ezs}	Náklady na energie za smenu	[Kč]
N_{kro}	Cena materiálu na jeden krok	[Kč]
N_{mat}	Cena materiálu súčasti	[Kč]
N_{mzs}	Náklady na mzdy za smenu	[Kč]
$N_{nás}$	Cena nástroja	[Kč]
N_{odp}	Cena odpadu	[Kč]
$N_{prá}$	Cena práce za súčasť	[Kč]
n_{pre}	Počet predaných kusov	[ks]
n_{szs}	Počet vyrobených súčastí za smenu	[ks]
p	Merný kalibračný tlak	[MPa]
P_{ezs}	Spotreba elektrickej energie za smenu	[kWh]
P_{ptv}	Potrebný tvárniaci výkon	[W]
R_e	Medza klzu	[MPa]
R_m	Medza pevnosti v ťahu	[MPa]
r_m	Polomer zaoblenia hrany ohybnice	[mm]
R_o	Polomer ohybu	[mm]
$R_{o\ max}$	Maximálny polomer ohybu	[mm]
$R_{o\ min}$	Minimálny polomer ohybu	[mm]
r_p	Polomer zaoblenia hrany ohybníku	[mm]
s	Hrúbka materiálu	[mm]
S	Plocha polotovaru v styku s nástrojom	[mm ²]
S_{dp}	Plocha dosadacej plochy	[mm ²]
S_{mat}	Plocha materiálu	[mm ²]
$S_{výs}$	Plocha výstrižku	[mm ²]
V_{kro}	Objem materiálu na jeden krok	[mm ³]
v_s	Strižná vôľa	[mm]
x	Súčiniteľ posunutia neutrálnej osy	[-]
z	Strižná medzera	[mm]
Z_{cel}	Zisk z predaja súčasti	[Kč]
Δ	Tolerancia menovitého rozmeru	[mm]
α	Uhol ohybu	[°]
β	Uhol odpruženia	[°]
γ	Súčiniteľ zaplnenia diagramu	[-]
δ_e	Výrobná tolerancia strižnice	[mm]
δ_k	Výrobná tolerancia strižníka	[mm]
ϵ_{tmax}	Trvalá pomerná deformácia	[-]
η_A	Podiel využitia materiálu	[%]
ρ	Polomer neutrálnej osy	[mm]
$\rho_{ocel'}$	Hustota oceli	[kg·m ⁻³]
σ_n	Normálové napätie	[MPa]
σ_{otl}	Tlak otláčenia	[MPa]
τ_{max}	Maximálne šmykové napätie	[MPa]
τ_s	Pevnosť materiálu v strihu	[MPa]
φ	Uhol ohnutého úseku	[°]

ZOZNAM OBRÁZKOV

Obr. 1	Príklad tvár. stroja, nástroja a súčasti vyrobenej tech. plošného tvárnenia	9
Obr. 2	Využitie lišty na paletovom regáli a model vyrábanej súčasti	10
Obr. 3	Plazmová rezacia hlava	11
Obr. 4	Rezanie plechu laserom	11
Obr. 5	Schéma rezacej hlavy	12
Obr. 6	Schéma jednoduchého strižného nástroja	12
Obr. 7	Detail ohýbacích nástrojov	13
Obr. 8	Príklad postupového združeného nástroj	13
Obr. 9	Fázy strihania	14
Obr. 10	Šírenie trhlín pri rôznych strižných vôľach	15
Obr. 11	Detail strižnej plochy	15
Obr. 12	Strižná sila v závislosti na polohe nástroja	16
Obr. 13	Minimálne vzdialenosti otvorov	17
Obr. 14	Schéma ohybu a priebeh napätí v materiáli	18
Obr. 15	Odpruženie pri ohybe do tvaru V a U	19
Obr. 16	Diagram na určenie koeficientu k	19
Obr. 17	Eliminácia odpruženia	20
Obr. 18	Príklad využitia rebrovania	20
Obr. 19	Priebeh celkovej ohýbacej sily	21
Obr. 20	Schéma ohýbanej súčasti	23
Obr. 21	Schem. zobrazenie napätostných stavov pri min. a max. polomere ohybu	24
Obr. 22	Schéma orientácie ohýbanej súčasti voči smeru vlákien materiálu	24
Obr. 23	Minimálne vzdialenosti	25
Obr. 24	Schéma fungovania rôznych druhov strižných nástrojov	26
Obr. 25	Schéma strižného nástroja s vedením	27
Obr. 26	Schéma rôznych druhov upínania strižníkov o kotviacu dosku	28
Obr. 27	Schéma uchytenia podporného plechu k vodiacej lište	28
Obr. 28	Schéma skladanej a vložkovanej strižnice	29
Obr. 29	Schéma rôznych prevedení strižných otvorov	29
Obr. 30	Schematické zobrazenie rôznych konštrukčných riešení strižníkov	31
Obr. 31	Schematické zobrazenie rôznych možností úkosovania čiel strižníkov	31
Obr. 32	Usporiadanie vodiacich elementov	33
Obr. 33	Schéma ohýbacieho nástroja do tvaru U s vedením	33
Obr. 34	Polomery zaoblenia hrán ohýbadiel	34
Obr. 35	Príklad vložkovaných ohýbadiel	34
Obr. 36	Vôľa pri ohýbaní	35
Obr. 37	Princíp funkcie kľukového mechanizmu	35
Obr. 38	Princíp funkcie hydraulického lisu	36
Obr. 39	Vyrábaná súčasť: regálová lišta	37
Obr. 40	Tvar ohybov vyrábaného dielu uchyteného o nosník regálu	37
Obr. 41	Schéma vyrábanej súčasti pred a po ohybe	38
Obr. 42	Variant výroby na 3 kroky	40
Obr. 43	Variant výroby na 4 kroky	40
Obr. 44	Variant výrobného postupu A	41
Obr. 45	Variant výrobného postupu B	42
Obr. 46	Variant výrobného postupu C	43

Obr. 47	Dierovacie a nastrihovacie strižníky	44
Obr. 48	Vystrihovacie strižníky	45
Obr. 49	Schéma ohybu 148°	46
Obr. 50	Schéma ohybov v treťom a štvrtom kroku	47
Obr. 51	Výrobná linka s odvíjačkou, podávačkou a lisom Arisa 630t	49
Obr. 52	Poloha ťažiska pôsobiacich síl a vybraní pre upnutie nástroja	50
Obr. 53	Postupový združený nástroj k výrobe regálovej lišty	51
Obr. 54	Spodná časť postupového združeného nástroja	52
Obr. 55	Detail nátláčnej hrany a podkosenia ohybnice	52
Obr. 56	Horná časť postupového združeného nástroja (pohľad zdola)	53
Obr. 57	Princíp uchytenia vodiacej dosky	53
Obr. 58	Vodiaca doska osadená pridržovačmi a pružinami (pohľad zdola)	54
Obr. 59	Náhľad do činnej časti nástroja	54

ZOZNAM TABULIEK

Tab. 1 Chemické zloženie oceli S355MC.	10
Tab. 2 Mechanické vlastnosti oceli S355MC.	10
Tab. 3 minimálny rozmer strihaných otvorov.	18
Tab. 4 Merný tlak pre kalibráciu.	21
Tab. 5 Určenie súčiniteľa posunutia neutrálnej osy.	22
Tab. 6 Prehľad najpoužívanějších nástrojových ocelí a ich využitie.	30
Tab. 7 Parametre mechanického lisu Arisa S-2-630-300-150-F-S.	50

ZOZNAM PRÍLOH

- Príloha 1 – Výpočet momentu zotrvačnosti
- Príloha 2 – Výpočet dĺžky zvitku
- Príloha 3 – Určenie rozmerov mostíkov a okrajov
- Príloha 4 – Pružina ZW 8031 051 R16
- Príloha 5 – Vodiace kolíky a puzdrá
- Príloha 6 – Pružina CW 4200 038 V1

ZOZNAM VÝKRESOVEJ DOKUMENTÁCIE

DP-2018-153091-00 – Výkres zostavy

DP-2018-153091-28 – Strižník A

DP-2018-153091-41 – Ohybník 1

DP-2018-153091-K1 – Kusovník 1

DP-2018-153091-K2 – Kusovník 2

DP-2018-153091-K3 – Kusovník 3

DP-2018-153091-K4 – Kusovník 4

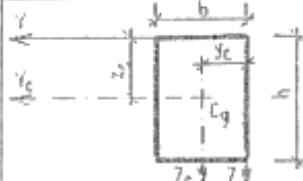
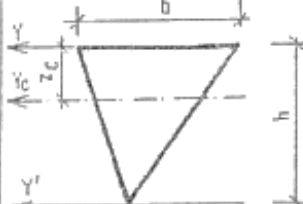
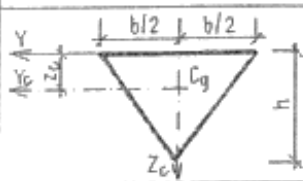
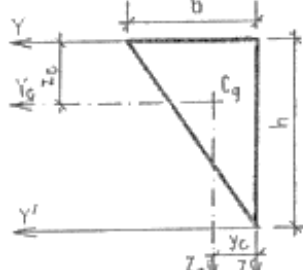
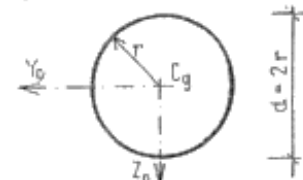
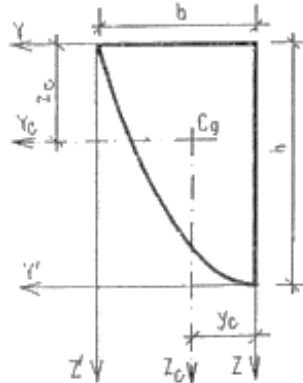
DP-2018-153091-K5 – Kusovník 5

DP-2018-153091-K6 – Kusovník 6

Príloha 1 - Výpočet momentu zotrvačnosti [38]

GEOMETRICKÉ CHARAKTERISTIKY ROVINNÝCH OBRAZCŮ

TABULKA 3.

TVAR OBRAZCE	PLOCHA A	SOUŘADNICE TÉŽIŠTĚ $C_g(y_c, z_c)$	AXIÁLNÍ MOMENTY SETRVAČNOSTI I	DEVIČNÍ MOMENTY D
	$A = bh$	$y_c = \frac{b}{2}$ $z_c = \frac{h}{2}$	$I_{y_c} = \frac{bh^3}{12}, I_{z_c} = \frac{hb^3}{12}$ $I_y = \frac{bh^3}{3}, I_z = \frac{hb^3}{3}$	$D_{yz} = \frac{b^2 h^2}{4}$ $D_{y_c z_c} = 0$
	$A = \frac{bh}{2}$	$z_c = \frac{h}{3}$	$I_{y_c} = \frac{bh^3}{36}$ $I_y = \frac{bh^3}{12}$ $I_{y'} = \frac{bh^3}{4}$	
	$A = \frac{bh}{2}$	$z_c = \frac{h}{3}$	$I_{y_c} = \frac{bh^3}{36}, I_{z_c} = \frac{hb^3}{48}$ $I_y = \frac{bh^3}{12}$	$D_{y_c z_c} = 0$
	$A = \frac{bh}{2}$	$y_c = \frac{b}{3}$ $z_c = \frac{h}{3}$	$I_{y_c} = \frac{bh^3}{36}, I_{z_c} = \frac{hb^3}{36}$ $I_y = \frac{bh^3}{12}, I_z = \frac{hb^3}{12}$ $I_{y'} = \frac{bh^3}{4}$	$D_{y_c z_c} = -\frac{b^2 h^2}{72}$ $D_{yz} = \frac{b^2 h^2}{24}$ $D_{y'z} = -\frac{b^2 h^2}{8}$ ZNAMÉNKA!
	$A = \pi r^2 = \frac{\pi d^2}{4} \approx 3,1416 r^2 = 0,7854 d^2$		$I_{y_c} = I_{z_c} = \frac{\pi r^4}{4} = \frac{\pi d^4}{64} \approx 0,7854 r^4 = 0,0491 d^4$	$D_{y_c z_c} = 0$
	$A = \frac{2}{3} bh$	$y_c = \frac{3}{8} b$ $z_c = \frac{2}{5} h$	$I_{y_c} = \frac{8}{175} bh^3 \approx 0,0457 bh^3$ $I_{z_c} = \frac{19}{480} hb^3 \approx 0,0396 hb^3$ $I_y = \frac{16}{105} bh^3 \approx 0,1524 bh^3$ $I_z = \frac{2}{15} hb^3 \approx 0,1333 hb^3$ $I_{y'} = \frac{2}{7} bh^3 \approx 0,2857 bh^3$ $I_{z'} = \frac{3}{10} hb^3 \approx 0,3000 hb^3$	

Príloha 2 - Výpočet dĺžky zvitku [39]

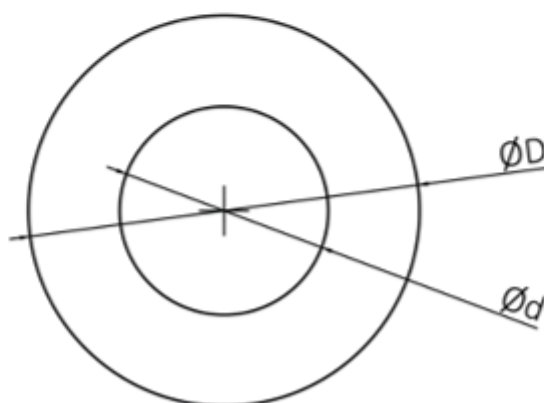
ZÁKLADNÉ ROZMERY

	U. S. Steel Košice		
	tabule	zvitky	pásky
Hrúbka [mm]	1,80 - 12,50 (12,70) mm		2,00 - 8,00
Dĺžka [mm]	2 000 - 12 000	-	-
Vnútorňý priemer zvitku [mm]	-	850 (+50; -20)	600, 712, 760, 850
Vonkajší priemer zvitku [mm]	-	1850	
Hmotnosť	5,0 - 15,1 kg . mm ⁻¹ šírky		

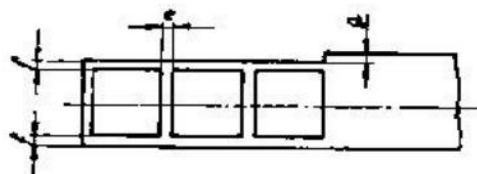
$$L_{\text{zvit}} = \frac{D^2 - d^2}{4 \cdot s} = \frac{1850^2 - 850^2}{4 \cdot 4}$$

$$L_{\text{zvit}} = 168750 \text{ mm} = 168,75 \text{ m}$$

Max. priemer	D	1850	mm
Min. priemer	d	850	mm
Hrúbka	s	4	mm



Príloha 3 - Určenie rozmerov mostíkov a okrajov [40]



Tl. mat.	Šírka pásu											
	do 15		15 - 50		50-100		100 -200		200 -300		300 -400	
	e	f	e	f	e	f	e	f	e	f	e	f
0,1-0,9	1,2	1,5	1,5	1,8	1,8	2,2	2,5	3,1				
1	1,3	1,6	1,6	2	2	2,5	3	3,7	4	4,8	4,8	6
1,3	1,4	1,7	2	2,5	2,5	3,1	3,5	4,3	4,2	5,2	5,3	6,5
1,5	1,5	1,8	2,2	2,7	2,5	3,1	3,5	4,3	4,5	5,4	5,6	6,8
1,8	1,8	2,2	2,2	2,8	2,5	3,1	3,5	4,3	4,7	5,6	5,8	7
2	2	2,5	2,5	3,1	3	3,7	4	5	5	6	6	7
2,2	2,2	2,7	2,6	3,2	3,2	4	4,2	5,2	5,2	6,2	6,2	7,2
2,5	2,5	3,1	2,8	3,5	3,2	4	4,2	5,2	5,4	6,3	6,3	7,2
2,8	2,8	3,5	3	3,7	3,2	4	4,2	5,2	5,4	6,3	6,5	7,3
3	3	3,7	3,2	4	3,5	4,3	4,5	5,5	5,5	6,5	6,6	7,5
3,5			3,5	4,3	4	5	5	6	6	7	7	8,5
4			3,8	4,5	4,5	5,5	5,5	6,5	6,7	8	8	9,3
4,5			4,0	4,8	4,5	5,7	5,5	6,8	7	8,3	8,3	9,8
5			4,5	5	5	6	6	7	7,3	8,5	8,7	10

Príloha 4 - Pružina ZW 8031 051 R16 [41]

Die
Springs

Die springs made of steel, rubber & elastomer

Every step of the way

WZ 8031 R

- Red die springs, rectangular wire ISO 10243
- Rode veren, rechthoekige draaddoorsnede ISO 10243

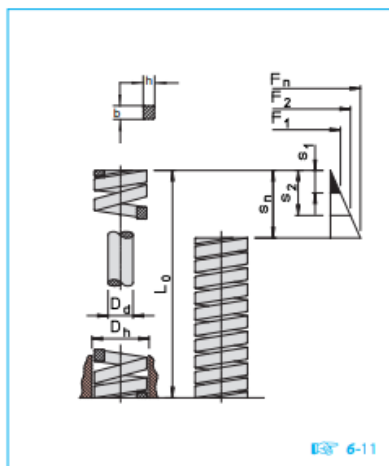
- Federn, rot, rechteckiger Drahtquerschnitt ISO 10243
- Ressorts rouges, fil rectangulaire ISO 10243

● Mat.: Special alloy - Load range: **heavy load**.
Important: sufficient initial compression is essential for maximum spring life.
1 N = 0,102 Kg (force)





○ Mat.: Speziallegierung - Leistungsklasse: **hohe Belastung**.
Wichtig: Ein ausreichend großer Vorspannungsweg ist für eine maximale Lebensdauer entscheidend.
1 N = 0,102 Kg (Kraft)

■ Mat.: Speciale legering - Belastingklasse: **zware belasting**.
Belangrijk: voldoende voorspanning is noodzakelijk voor een maximale levensduur.
1 N = 0,102 Kg (belasting)

□ Mat.: Alliage spécial - Classe de charge: **charge forte**.
Important: Une compression initiale suffisante est essentielle pour une longue durée du ressort.
1 N = 0,102 Kg (charge)



WZ 8031 R 10 025

REF	Dh	Dd	Lo	● Spring rate ○ Federrate ■ Veerconstante □ Flex. ressort R		20%		25%		30%		D	
	b	x											h
	Ø mm	Ø mm											mm
WZ 8031 R 10 025	10	5	25	22,1	5,0	111	6,3	139	7,5	166	9,2	203	
WZ 8031 R 10 032			32	17,5	6,4	112	8,0	140	9,6	168	12,1	212	
WZ 8031 R 10 038			38	17,1	7,6	130	9,5	162	11,4	195	13,2	226	
WZ 8031 R 10 044			44	15,0	8,8	132	11,0	165	13,2	198	15,1	227	
WZ 8031 R 10 051			51	12,8	10,2	131	12,8	164	15,3	196	19,5	250	
WZ 8031 R 10 064			64	10,7	12,8	137	16,0	171	19,2	205	21,8	233	
WZ 8031 R 10 076			76	7,5	15,2	114	19,0	143	22,8	171	27,9	209	
WZ 8031 R 10 305	1,9	x 1,5	305	2,1	61,0	128	76,3	160	91,5	192	127,2	267	
WZ 8031 R 13 025	12,5	6,3	25	42,1	5,0	211	6,3	265	7,5	316	9,8	413	
WZ 8031 R 13 032			32	33,2	6,4	212	8,0	266	9,6	319	13,6	452	
WZ 8031 R 13 038			38	29,3	7,6	223	9,5	278	11,4	334	14,6	428	
WZ 8031 R 13 044			44	24,6	8,8	216	11,0	271	13,2	325	18,1	445	
WZ 8031 R 13 051			51	19,6	10,2	200	12,8	251	15,3	300	22,3	437	
WZ 8031 R 13 064			64	15,0	12,8	192	16,0	240	19,2	288	27,3	410	
WZ 8031 R 13 076			76	13,2	15,2	201	19,0	251	22,8	301	33,1	437	
WZ 8031 R 13 089			89	11,4	17,8	203	22,3	254	26,7	304	38,9	443	
WZ 8031 R 13 102			102	8,4	20,4	171	25,5	214	30,6	257	43,8	368	
WZ 8031 R 13 305	2,4	x 1,9	305	2,8	61,0	171	76,3	214	91,5	256	139,7	391	
WZ 8031 R 16 025	16	8	25	75,7	5,0	379	6,3	477	7,5	568	8,4	636	
WZ 8031 R 16 032			32	52,8	6,4	338	8,0	422	9,6	507	10,5	554	
WZ 8031 R 16 038			38	48,5	7,6	369	9,5	461	11,4	553	13,6	660	
WZ 8031 R 16 044			44	42,8	8,8	377	11,0	471	13,2	565	15,9	681	
WZ 8031 R 16 051			51	37,1	10,2	378	12,8	475	15,3	568	18,9	701	
WZ 8031 R 16 064			64	30,3	12,8	388	16,0	485	19,2	582	24,9	754	
WZ 8031 R 16 076			76	25,7	15,2	391	19,0	488	22,8	586	29,2	750	
WZ 8031 R 16 089			89	21,7	17,8	386	22,3	484	26,7	579	34,5	749	
WZ 8031 R 16 102			102	19,3	20,4	394	25,5	492	30,6	591	39,1	755	
WZ 8031 R 16 115			115	15,7	23,0	361	28,8	452	34,5	542	44,0	691	
WZ 8031 R 16 305	3,1	x 2,5	305	7,1	61,0	433	76,3	542	91,5	650	103,6	736	
WZ 8031 R 20 025	20	10	25	216,0	5,0	1080	6,3	1361	7,5	1620	8,3	1793	
WZ 8031 R 20 032			32	168,0	6,4	1075	8,0	1344	9,6	1613	10,9	1831	
WZ 8031 R 20 038			38	129,0	7,6	980	9,5	1226	11,4	1471	12,5	1613	
WZ 8031 R 20 044			44	112	8,8	986	11,0	1232	13,2	1478	15,0	1680	
WZ 8031 R 20 051			51	94,0	10,2	959	12,8	1203	15,3	1438	17,6	1654	
WZ 8031 R 20 064			64	72,1	12,8	923	16,0	1154	19,2	1384	22,6	1629	

Príloha 5 - Vodiace kolíky a puzdrá [42]



WZ 4030 - WZ 4039

- Guide bushings with collar, made of steel
- Demonteerbare stalen geleidingsbussen

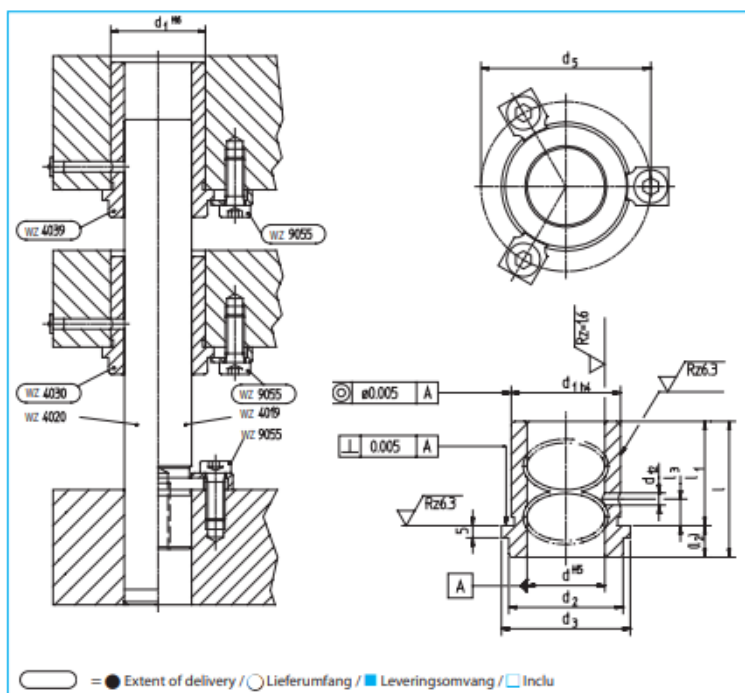
- Führungsbuchsen mit Bund, aus Stahl
- Douilles de guidage à collerette, en acier

● Mat.: 1.6757 / 61 - 63 HRC
 $p_{max} = 150 \text{ N/mm}^2$.
 Guide bushings with collar made of steel.
 Suitable for guide pillars **WZ 4020**,
WZ 4019, **WZ 4000**. Fixing devices
(WZ 9055) and screws included.

○ Mat.: 1.6757 / 61 - 63 HRC
 $p_{max} = 150 \text{ N/mm}^2$.
 Führungsbuchsen aus Stahl mit Bund.
 Passend zu Führungssäulen **WZ 4020**,
WZ 4019, **WZ 4000**. Haltestücke
(WZ 9055) und Schrauben im Lieferum-
 fang enthalten.

■ Mat.: 1.6757 / 61 - 63 HRC
 $p_{max} = 150 \text{ N/mm}^2$.
 Demonteerbare geleidingsbussen zijn
 vervaardigd uit staal.
 Geschikt voor de geleidingszuilen
WZ 4020, **WZ 4019**, **WZ 4000**. Bevesti-
 gingselementen **(WZ 9055)** en schroeven
 inbegrepen.

□ Mat.: 1.6757 / 61 - 63 HRC
 $p_{max} = 150 \text{ N/mm}^2$.
 Douilles de guidage en acier à collerette.
 Adaptées aux colonnes de guidage
WZ 4020, **WZ 4019**, **WZ 4000**.
 Dispositifs de fixation **(WZ 9055)** et vis
 font partie de la livraison.



REF	d	l	d ₁	d ₂	d ₃	d ₄	d ₁₂	l ₁	l ₂	l ₃
WZ 4030 18/19	31		28	29	34	41	5	18	13	8
WZ 4039 18/19	50		28	29	34	41	5	37	13	8
WZ 4030 24/25	36		38	39	44	51	5	23	13	12
WZ 4039 24/25	55		38	39	44	51	5	42	13	12
WZ 4030 30/32	43		45	48	53	63	5	30	13	19
WZ 4039 30/32	60		45	48	53	63	5	47	13	19
WZ 4030 40/42	51		54	58	63	73	8	38	13	19
WZ 4039 40/42	67		54	58	63	73	8	54	13	19
WZ 4030 50/52	61		65	74	79	89	8	48	13	19
WZ 4039 50/52	75		65	74	79	89	8	62	13	19

WZ 4031 18 31

348

www.azolgas.com

Service in Motion

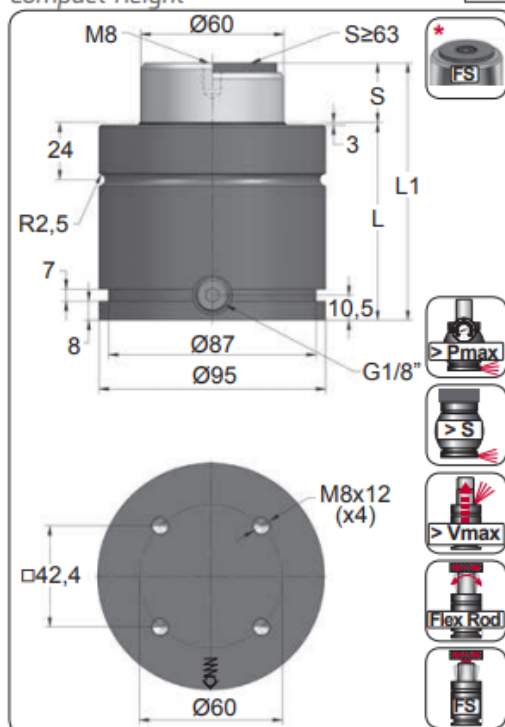
azolgas@azolgas.com

Tel. +34 945290010

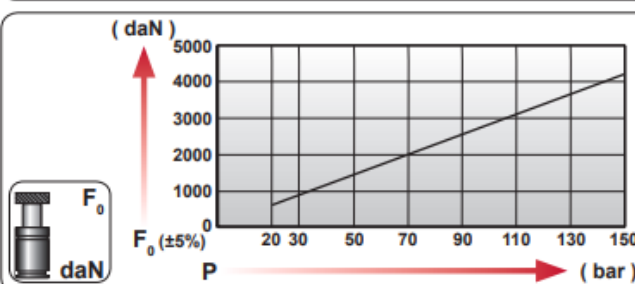
CW 4200 V1

Compact Height

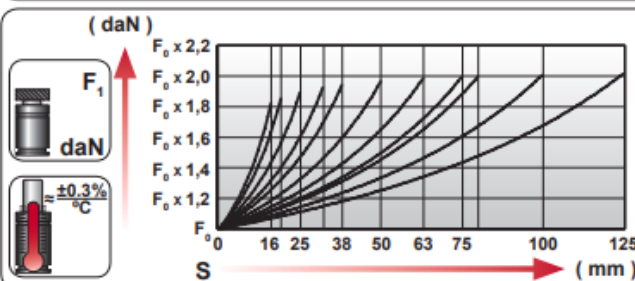
BMW	B2 4005	FORD	W-DX35-6204	PSA	E24.54.815.G
MB	B8 3180 220 000 004				
VW	390 997				

AZOL
GAS

ORDER	S (mm)	L1 ±0,25 (mm)	L (mm)	Kg.
CW 4200 016 V1	16	90	74	3.04
CW 4200 019 V1	19	96	77	3.12
CW 4200 025 V1	25	108	83	3.29
CW 4200 032 V1	32	122	90	3.49
CW 4200 038 V1	38	134	96	3.66
CW 4200 050 V1	50	158	108	4.01
CW 4200 063 V1 *	63	184	121	4.38
CW 4200 075 V1 *	75	208	133	4.72
CW 4200 080 V1 *	80	218	138	4.86
CW 4200 100 V1 *	100	258	158	5.43
CW 4200 125 V1 *	125	308	183	6.15



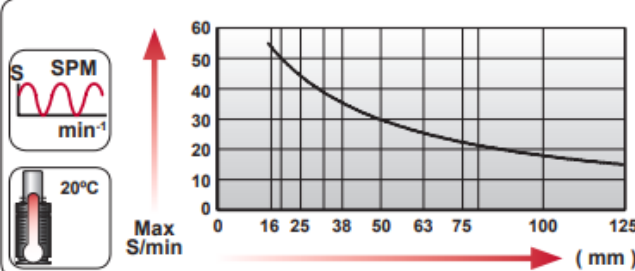
CODE	bar	psi	F ₀ daN	F ₁ daN
CW 4200 050 V1	150	2175	4240	8335
CW-H 4200 050 V1	0	0	---	---



ENG	ORDER	F ₀	S
DEU	BESTELLUNG	daN	mm
FRA	COMMANDE		
ITA	ORDINE		
ESP	PEDIDO		
POR	PEDIDO		

CW 4200 50

CW 4200 050 V1



N ₂	Smax < 90%	Vmax 1,6 m/s	bar psi 20 290	bar psi 150 2175	°C °F 0 32	°C °F 80 176	600 CP-